

**Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»**

**Министерство обороны РФ
Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков им. А.К. Серова**

**Министерство сельского хозяйства РФ
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И.Т. Трубилина»**

**Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»**

**Харбинский инженерный университет
(Китай)**

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**Материалы тринадцатой
Международной научной конференции**

«ТТС-22»

(23–25 ноября 2022 г.)

Краснодар
2022

УДК 621.3
ББК 39.53
Т38

Т38 Технические и технологические системы : материалы тринадцатой Международной научной конференции «ТТС-22» (23–25 ноября 2022 года) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – 478 с.

ISBN 978-5-91718-711-2

Сборник содержит материалы тринадцатой Международной научной конференции «Технические и технологические системы», проведенной в г. Краснодаре 23–25 ноября 2022 года на базе Кубанского государственного технологического университета. В настоящем издании представлены результаты исследований сотрудников более сорока научно-исследовательских, учебных, проектно-внедренческих и эксплуатационных организаций Российской Федерации и зарубежных стран.

ББК 39.53
УДК 629.7

ISBN 978-5-91718-711-2

© Коллектив авторов, 2022
© ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2022
© КВВАУЛ им. А.К. Серова, 2022
© Оформление ООО «Издательский Дом – Юг», 2022

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1.

Энергосберегающие технологии и электрооборудование

- председатель – канд. техн. наук, доц. *Кашин Я.М.*
- сопредседатель – ассистент *Шаршак А.А.*

Секция 2.

Моделирование процессов функционирования радиоэлектронных информационно-управляющих систем

- председатель – д-р техн. наук, проф. *Лясковский В.Л.*
- сопредседатель – канд. техн. наук, доц. *Захаренко Г.И.*

Секция 3.

Компьютерные технологии и безопасность информации в технической и технологической системах

- председатель – д-р техн. наук, проф. *Атросенко В.А.*
- сопредседатель – канд. техн. наук, доц. *Шарифуллин С.Р.*

Секция 4.

Информационные и инновационные технологии в учебном процессе и НИР

- председатель – канд. псих. наук, *Кузнецов Ю.Н.*
- сопредседатель – канд. пед. наук, доц. *Шкода В.В.*

Секция 5.

Возобновляемые источники энергии

- председатель – д-р техн. наук, д-р пед. наук, проф. *Григораш О.В.*
- сопредседатель – д-р техн. наук, проф. *Гайтова Т.Б.*

Секция 6.

Энерго- и ресурсосбережение при производстве тепловой и электрической энергии на теплоэнергетических установках

- председатель – д-р техн. наук, проф. *Гапоненко А.М.*
- сопредседатель – канд. техн. наук, доц. *Кочарян Е.В.*

Секция 7.

Науки о Земле

- председатель – д-р тех. наук, проф. *Гиляев Г.Г.*
- сопредседатель – канд. тех. наук, с.н.с. *Усов С.В.*

**Место работы конференции –
г. Краснодар, Институт нефти, газа и энергетики
Кубанского государственного технологического университета, ауд. 410.**

**Адрес:
350072, Краснодарский край, г. Краснодар,
ул. Старокубанская, 88/4.**

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ

Удодов С.А. – канд. техн. наук, доцент, проректор Кубанского государственного технологического университета по научной работе и инновациям

ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ:

Кашин Я.М. – канд. техн. наук, доцент, КВВАУЛ, КубГТУ, г. Краснодар (Россия)

Арестенко Ю.П. – канд. техн. наук, доцент, КубГТУ, г. Краснодар (Россия)

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Атрощенко В.А. – д-р техн. наук, профессор, КубГТУ, г. Краснодар (Россия)

Гапоненко А.М. – д-р техн. наук, профессор, КубГТУ, г. Краснодар (Россия)

Григораш О.В. – д-р техн. наук, д-р пед. наук, профессор, КубГАУ, г. Краснодар (Россия)

Лясковский В.Л. – д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва (Россия)

Птах Г.К. – д-р техн. наук, профессор, ЮргТУ (НПИ), г. Новочеркасск (Россия)

Гайтова Т.Б. – д-р техн. наук, профессор, Московский Политех (Россия)

Федотов Д.С. – канд. полит. наук, КВВАУЛ им. А.К. Серова (Россия)

Чэн Пэн – канд. техн. наук, доцент, Харбинский инженерный университет, г. Харбин (Китай)

Шарифуллин С.Р. – канд. техн. наук, доцент, КВВУ им. С.М. Штеменко г. Краснодар (Россия)

СЕКРЕТАРИАТ:

Мусатов А.Н. – КВВАУЛ им. А.К. Серова

Шаршак А.А. – КубГТУ.

За справками обращаться по телефонам:

8-918-216-93-05 – Шаршак Алексей Александрович,
8-965-470-14-96 – Кашин Яков Михайлович.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Секция 1. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Антипов Д.С., Карандей В.Ю., Смазнов Ю.А., Фишер Н.А., Шеремет В.А., Ярмонов С.В. Анализ изменения напряжения в электрической системе напряжением 6/10/35/110 кВ	15
Антипов Д.С., Карандей В.Ю., Смазнов Ю.А., Фишер Н.А., Шеремет В.А., Ярмонов С.В. Исследование режимов работы электрических подстанций 35 кВ и 110 кВ в зависимости от температуры	17
Афанасьев В.Л., Карандей В.Ю., Ярмонов С.В., Фишер Н.А. К вопросу выбора методов оптимизации применительно к управляемому каскадному электрическому приводу	19
Афанасьев Д.Е., Ли-Фир-Су Р.П. Определение средней температуры однотипных объектов или объекта с распределенными параметрами	21
Богдан А.В., Богдан А.В. Матричный расчет токов в разветвленной сети при неизменных заданных нагрузках	25
Галиева Т.Г., Иванов Д.А., Малаева Е.Д. Разработка метода непрерывного бесконтактного контроля высоковольтных изоляторов и его верификация электрическим методом	28
Данилушкин А.И., Колпаков Д.В. Система индукционного подогрева кольцевых заготовок перед раскаткой	31
Добробаба Ю.П., Кушнарченко А.П. Определение потребляемой мощности прецизионным электроприводом при оптимальных по быстродействию малых перемещениях его исполнительного органа	34
Добробаба Ю.П., Прохоренко Н.Я. Устройство для формирования сигнала, соответствующего диаграмме для больших перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с интенсивным торможением при упругом валопроводе	40
Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Квочкин В.В., Карандей Ю.Ю., Смазнов Ю.А., Шеремет В.А. Анализ изменения пути прохождения магнитного потока в зубцовой части статора компонента специального управляемого каскадного электрического привода цилиндрической конструкции	43
Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Квочкин В.В., Карандей Ю.Ю., Смазнов Ю.А., Шеремет В.А. Анализ изменения пути прохождения магнитного потока в зубцовой части статора компонента специального управляемого каскадного электрического привода аксиальной конструкции	46
Кашин Я.М., Варёнов А.Б., Войнов А.В., Батышев А.И. Суммирующие топливомеры-расходомеры для гибридных энергетических комплексов. Анализ конструкций, перспективы	49

Кашин Я.М., Попов А.Ю., Шаршак А.А., Кузнецов Д.Н. Определение трассы кабеля и корректировка положения автономного устройства для определения места повреждения кабеля при его перемещении вдоль трассы кабеля	52
Кашин Я.М., Колбасин С.И., Мараховский Е.А., Голованов А.А. Уточнение значений статического момента сопротивления и динамического момента двигателя с короткозамкнутым ротором	56
Кашин Я.М., Шавернев И.С. Фланцевые генераторы	59
Кашин Я.М., Бондаренко А.А. Анализ современных вакуумных выключателей	62
Ким В.А., Колбасин С.И., Мараховский Е.А. Математическая модель двигателя с многофункциональным массивным ротором	64
Копелевич Л.Е., Колбасин С.И., Мараховский Е.А., Голованов А.А. Электромагнитные процессы двигателя с многофункциональным массивным ротором	67
Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Луценко А.С. Векторное моделирование кратковременного снижения напряжения для асинхронного двигателя типа ДАЗО	70
Коробейников Б.А., Печенкин А.Г., Обухов А.В. Компьютерная модель трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой в системе SIMULINK – SIMSCAPE	74
Кузнецов А.В., Добренький Р.А. Оценка эффективности установки компенсирующих устройств в сети потребителя электроэнергии	78
Ладенко Н.В., Креминский Б.О., Ефременко Д.А. Работа автономного инвертора напряжения при питании ДЭМ	80
Ладенко Н.В., Креминский Б.О., Сурков А.С. Пример реализации системы управления ДЭМ по ротору	84
Оппаходжаев А.М., Ольшанская И.В., Луценко А.С. Анализ пуска асинхронных двигателей от дизель-генератора соизмеримой мощности	88
Печенкин А.Г., Ольшанская И.В., Обухов А.В. Матричная модель трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой	92
Сазонов К.В., Кочарян Е.В. Применение топливных элементов в индивидуальных когенерационных системах энергообеспечения	96
Самородов А.В., Ким В.А., Колбасин С.И., Мараховский Е.А. Регулировочные характеристики двигателя с короткозамкнутым ротором	99
Самородов А.В., Жилин Я.И., Горяйнов В.В. Зарядные станции для электротранспорта г. Краснодара	102
Соболь А.Н., Андреева А.А., Федорец А.В. Анализ опытных данных повреждения обмотки статора автономного асинхронного генератора	104
Старостина Я.К. Анализ гармонического состава выходного напряжения модульного маловентильного устройства регулирования	107

Таранцева К.Р., Коростелева А.В., Полянская Е.А. Дикатализаторы на основе меди и серебряной пены для окисления этанола в растворах гидроксида калия	111
Туманян Х.А., Воронова В.В. Разработка перспективных энергосберегающих технологий для работы в осложненных условиях добычи углеводородов	116
Хабилов Ю.М., Хамидуллин И.С. Возможность рекуперации бросовой теплоты холодильной установки в рамках модернизации систем горячего водоснабжения зданий	119
Хамидуллин И.Н., Маслов С.Ю., Мочалов Н.С. Система обнаружения гололедообразования	122

**Секция 2.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**

Олейников Д.Н., Федоренко В.В. Описание временных потерь, возникающих в процессе ретрансляции пакета данных в линейных беспроводных сенсорных сетях территориально протяженных объектов критической инфраструктуры	127
--	-----

**Секция 3.
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ
В ТЕХНИЧЕСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ**

Гололобов Д.В. Моделирование процесса описания соединений в конструкциях приспособлений для механической обработки деталей	133
Даутов З., Маслов С.Ю., Арсланов А.Д. Система отображения информации для автоматизированного комплекса мониторинга и устранения гололедообразования на ВЛЭП	139
Кашаев Р.С., Овсеенко Г.А., Козелков О.В. Мехатронный комплекс на основе метода ПМР и контроль достоверности его измерений	143
Князев А.С., Самородов А.В., Энговатова В.В., Шавернев И.С. О сквозном проектировании электрических машин	150

**Секция 4.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НИР**

Багдасарян Р.Х., Рева Е.С., Енгибарян Ж.Р. Информационно-коммуникационные технологии в системе инклюзивного образования России	155
Багдасарян Р.Х., Боровик Я.С., Енгибарян Ж.Р. К вопросу применения современных цифровых технологий в образовательной деятельности	157

Ведерникова Т.Г., Ильинская М.В. Межпредметная интеграция математики и химии как средство совершенствования образовательного процесса в колледже	159
Иванов С.Г., Толкачева Е.А. Самообучение в процессе преподавания: возможности измерения	167
Муздыбаева Ш.А., Жұмабекова Ж.Д. Анализ системы менеджмента качества испытательной лаборатории	178

Секция 5. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Аркаченкова В.В., Поваляев П.В., Францина Е.В., Петрова Ю.Ю. Переработка асфальтенов тяжелой нефти	185
Гасумов Э.Р. Перспективы развития возобновляемых источников энергии в Азербайджане	189
Григораш О.В., Денисенко Е.А., Даус Ю.В. Ветро-солнечные электростанции в сельскохозяйственном производстве	194
Григораш О.В., Кумейко А.А., Барышев П.М. Эксплуатационно-технические характеристики и особенности конструкции ветро-солнечных электростанций	196
Григораш О.В., Квитко А.В., Власенко Е.А. Энергоэффективный стабилизатор параметров электроэнергии бесконтактного генератора ветроэнергетической установки	198
Денисенко Е.А., Сидоренко А.Д. Использование ветро-солнечных агрегатов для автономного электроснабжения малых фермерских хозяйств	200
Кашин Я.М., Митин В.Н., Артеян К.З. Проблемы солнечной энергетики. Научный взгляд	202
Копелевич Л.Е., Митин В.Н., Артеян К.З. Проблемы, преимущества и перспективы развития ветроэнергетики в России	205
Попов С.А., Асташов М.А., Ибеоджо Г.О. Расчет надежности гибридной электрической машины-генератора	208
Попов С.А., Кривченков В.И., Помещенко Д.Н. Экспериментальная установка трекера для солнечной батареи	211
Самородов А.В., Алёнкин М.В., Кашин А.Я. Потенциальные возможности и перспективы использования Нетрадиционных источников энергии в промышленных комплексах	215
Самородов А.В., Ким В.А., Силин С.В. Солнечные коллекторные электростанции	217
Самородов А.В., Обинванне У.Э., Омо-Икеродах Э.О. Сравнение солнечной электростанции с частичным резервированием аккумуляторными батареями и полным резервированием	219
Сыпало Е.Б., Прохоренко Н.Я. Алгоритм управления водородным топливным элементом в системах малой мощности	222

Сыпало Е.Б., Прохоренко Н.Я. Схема взаимодействия водородного топливного элемента и аккумулятора для беспилотных радиоуправляемых систем	224
Шкода В.В., Алёнкин М.В., Кашин А.Я. Исследование перспектив применения ветрогенераторов в промышленности	227

Секция 6.

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Долгова А.Н., Чурилов К.Е. Повышение эффективности при производстве тепловой энергии в котельном оборудовании	231
Николаев А.И., Пешнев Б.В., Алхамеди М.Х.И., Никишин Д.В. Кавитационная обработка нефти	234

Секция 7. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Акопян Д.С., Гилаев Г.Г., Хафизов В.М. Развитие и внедрение новых технологий в нефтегазовой отрасли	241
Асташев Д.А., Иконникова Л.Н. Анализ способов транспортировки природного газа	245
Вихарев А.Н., Долгова И.И., Мирзабекова Ж.Б. кизи Обоснование схем транспорта углеводородов с Долгинского месторождения	248
Гилаев Г.Г., Гилаев Р.Г., Айрапетян С.Р. Влияние сульфатвосстанавливающих бактерий на нефтегазовое оборудование	252
Гилаев Г.Г., Гончаров А.С. Эффективность использования ГРП в терригенных коллекторах на примере Фаинского месторождения	256
Гилаев Г.Г., Гончаров А.С., Ульянов С.С. Повышение эффективности технологии ликвидации песчаных пробок на примере ООО «ГазпромДобычаУренгой»	259
Гилаев Г.Г., Гилаев Р.Г., Зражевский О.В. Интенсификации добычи нефти методом солянокислотной обработки	264
Гилаев Г.Г., Кондрашов А.В., Ульянов С.С. Повышение эффективности систем разработки на основе опережающего заводнения	268
Гилаев Г.Г., Крамаренко А.П., Молканова Е.Н. Исследование процесса пенокислотной обработки призабойной зоны пласта	274
Гнеуш В.С., Гилаев Г.Г., Даценко Е.Н. Исследование акустическое воздействия на призабойную зону пласта для увеличения нефтеотдачи на основе модели Гассмана	279
Звиненко К.И., Карташов Ю.И., Гончаров Е.В., Даниленко В.Н., Ахтырский М.В, Фоменко В.В. Повышение продуктивности нефтяных скважин воздействием на призабойную зону пласта термогазохимическими составами	284

Горпинченко А.Н., Жарикова Н.Х., Савенок О.В. Анализ геолого-промысловой характеристики Ачимовских отложений со сверхнизкими ФЕС в условиях АВПД на примере Приобского нефтегазоконденсатного месторождения	291
Фо Чи Тхань Разработка интеллектуальной системы управления горно-технологическими процессами	299
Иванов Д.Ю., Усов С.В., Мойса Ю.Н. Органо-минеральный синергизм ингибирования глин	305
Ишмуратов Ф.Г., Волошин А.И., Алимбекова С.Р. Влияние электромагнитного поля на образование сульфидов железа и коррозию конструкционной стали 20 в минерализованной среде в присутствии сероводорода и диоксида углерода	310
Карачин В.И., Кашаев Р.С., Козелков О.В. Использование метода лазерной фотометрии и ПМР-релаксации для исследования нефтей	316
Китов Е.С. Анализ процессов совершенствования технологий промысловой подготовки природного газа	319
Климов В.В., Чертов В.А. Повышение достоверности контроля технического состояния скважин на нефтегазовых месторождениях и подземных хранилищах газа	322
Козелкова В.О., Кашаев Р.С., Козелков О.В. Использование метода магнитной левитации для экспресс-контроля концентрации солей в каплях воды водо-нефтяных эмульсий	326
Ламбин А.И. Распределение скорости потока бурового раствора в эксцентричном пространстве горизонтальной скважины	329
Лышко Г.Н., Лышко О.Г., Усов С.В. Проверка эффективности известных моющих буферных жидкостей	339
Мурашева В.Ф., Гилаев Г.Г., Усов С.В. Внедрение новых методов освоения месторождений с трудноизвлекаемыми запасами	342
Нешков А.И., Савенок О.В., Кусова Л.Г. Анализ текущего состояния разработок Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения	346
Орлова И.О., Авакимян Н.Н., Орлов И.В. Обзор методов борьбы с гидратообразованием на ГРС	353
Орлова И.О., Даценко Е.Н., Орлов И.В. Применение эффекта Ранка-Хилша в противоточной вихревой трубе с внешним смещением потоков на ГРС	355
Пашкова А.А., Гилаев Г.Г., Григорьев М.А. Методы борьбы с коррозией нефтегазопромыслового оборудования	359
Перухин М.Ю. Несовместимые полимерные смеси	363
Пискарев С.А., Контарев А.А. Ликвидация прихватов трубных колонн на подземных хранилищах газа	365

Пискарев С.А., Контарев А.А., Тюхтина Н.С. Методика определения проницаемости пористых образцов	368
Плискина А.И., Гилаев Г.Г., Гилаев Г.Г. Многостадийный гидроразрыв пласта: способы проведения	373
Полынский И.В., Полынская М.М., Анциферов Е.А. Исследование защитных свойств эпоксидных композиций модифицированных ингибитором коррозии КИ-1М	376
Попряга И.А., Гилаев Г.Г., Хафизов В.М. Системное применение методов интенсификации добычи нефти на меторождении с учетом упругой насыщенной среды	380
Протасов В.Н., Шкода В.В. Системный подход к выбору критериев качества технических систем и их элементов для добычи нефти и газа по принципу иерархии	384
Рагимова М.С., Сулейманов Ш.М., Намазова Г.И., Рзаева Х.Дж. Теоретическое исследование техники и технологии вибровоздействия на пласт	389
Растегаев Б.А., Строганов В.М., Строганов М.А., Усов С.В., Иванов Д.Ю. Технология предупреждения и ограничения пескопроявлений на этапах заканчивания и эксплуатации нефтяных и газовых скважин	392
Рогов Е.А. Особенности разгрузки техногенных залежей подземного хранилища газа	396
Салами Ю.О., Аль-Идриси М.С. Анализ совместного применения химических методов увеличения нефтеотдачи пластов (МУН)	398
Самородов А.В., Малеева А.В., Пичугин Н.А. Обеспечение пожаровзрывобезопасной работы электрооборудования в нефтегазовом комплексе	402
Самородов А.В., Малеева А.В., Пичугин Н.А. Устройство пожарной сигнализации объектов нефтегазового комплекса	405
Самохвалов В.Е. Буферная жидкость для цементирования скважин	408
Светлов К.Ю., Гилаев Г.Г., Пальчикова Л.С. Усовершенствование гидродинамического моделирования	411
Свистов П.Ф., Талаш С.С., Талаш А.С., Павлова М.Т. О возможном фоновом уровне загрязнения атмосферных осадков Краснодарского края (из Атласа диаграмм 1958–2020 гг.)	416
Сисюкина Е.В., Гилаев Г.Г., Антониади Д.Г. Методы борьбы с солеотложениями и асфальтосмолопарафиновыми отложениями при эксплуатации нефтяных и газовых скважин в осложненных условиях	425
Сюзин К.К., Гилаев Г.Г., Очеретько Т.Б. Виды применяемых технологических процессов по первичной подготовке нефти	430
Сыщенко В.В., Гилаев Г.Г., Орлова И.О. Перспективы использования технологии КЛК	435
Сыщенко В.В., Гилаев Г.Г., Даценко Е.Н. Рациональный подход к использованию ПНГ, с целью снижения выбросов CO ₂ в атмосферу	439

Сыщенко В.В., Гилаев Г.Г., Гилаев Г.Г. Ограничение водопритока к добывающим скважинам	443
Телятников И.С., Павлова А.В., Рубцов С.Е. К исследованию волновых процессов в акустическом слое с покрытием	449
Фомин А.Н., Кульбеда Д.В., Чариков Г.Ю. Современные методы утилизации строительных отходов	453
Хамза Х.А., Гилаев Г.Г., Иванов Д.Ю. Увеличение охвата пласта за счет применения горизонтальных скважин в Чаде	455
Хрисониди В.А., Лободин М.А., Масленникова В.А. Фазовые превращения происходящие в нефтяных дисперсных системах	459
Хуснуллин Ш.Р., Коледина К.Ф., Алимбекова С.Р. Машинное обучение в анализе влияния частоты электромагнитного поля при различных скоростях потока раствора на скорость коррозии	462
Хучунаев Б.М., Геккиева С.О., Будаев А.Х. Исследование особенностей образования кластеров из наноструктур при диспергировании реагентов в присутствии водяного пара	465
Хучунаев Б.М., Геккиева С.О., Будаев А.Х. Исследование влияния электрического поля на образование кластеров, полученных при высокотемпературной возгонке реагентов	469
Шарнов А.И., Курдагия Н.Э. Разработка трещиновато-пористого пласта двойной пористости с зональной неоднородностью системы трещин скважиной с постоянным дебитом	472

Секция 1.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.313-57+621.316.925

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НАПРЯЖЕНИЕМ 6/10/35/110 КВ

Антипов Даниил Сергеевич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Карандей Владимир Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий
Смазнов Юрий Алексеевич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Фишер Николай Андреевич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Шеремет Владимир Александрович	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Ярмонов Сергей Владимирович	Кубанский государственный технологический университет магистрант

Аннотация. В статье приведен анализ сети 6/10/35/110кВ в периоды высоких температур и максимальных нагрузок. Приведен критический анализ актуальности проблемы падения и просадки напряжения в периоды высоких температур и максимальных нагрузок.

Ключевые слова: регулирование напряжения, падение напряжения, автоматизация регулировки напряжения, пропускная способность сети, средства компенсации реактивной мощности.

Исследование электроэнергетических систем и анализ технических параметров является довольно трудной задачей. Для решения таких задач необходимо применение новых подходов, разработка математических моделей [1, 2] и инструментов применения математических моделей [3] объектов исследования.

Для исследования уровней напряжения в сети 6/10/35/110 кВ необходимо обратиться к замерам напряжения в летний и зимний режимные дни Краснодарских электрических сетей. Также, в день крайне высоких температур (+39 °С) 27.07.2021 был проведен дополнительный режимный день.

В зимний режимный день 20.01.2021 проводились замеры нагрузок и напряжения в 16:00 и в 19:00. На одной из самых загруженных ПС г. Краснодара ПС 35 кВ Калинино зимние замеры показали, что есть небольшие просадки напряжения, хоть и не критические. Без регулировки трансформаторов под нагрузкой и ГВО замеры показали нагрузку в 15 МВт на Т-1 на момент 16:00 и в 14,31 МВт в 19:00 соответственно. Замеры напряжения показали 10,04 кВ и 10,3 кВ соответственно. Отсюда видим прямую зависимость от загрузки и напряжения на Т-1: чем выше нагрузка – тем ниже напряжение на шинах.

В свою очередь в летний режимный день 16.06.2021 максимальная нагрузка Т-2/16 в процентах на ПС 110 кВ Дальняя составляла 49 % и была 4,9 МВА. В допол-

нительный режимный день 27.07.2021, в день, когда температура воздуха была гораздо выше, загрузка трансформатора была 103,3 %, т.е. 10,33 МВА.

Замеры напряжения показали U 2сш – 108,25 кВ при нагрузке в 10 МВт, при 4,68 Мвар.

На ПС 35кВ Биофабрика, находящейся в частном секторе поселка Знаменского зависимость загрузки трансформатора от температуры как раз обратная, зимой загрузка Т-1 выше, чем летом, т.к. большинство потребителей используют электроэнергию для отопления. В зимний режимный день 20.01.2021 загрузка Т-1/6,3 была 136 % 8,57 МВА, в летний дополнительный режимный день загрузка Т-1/6,3 была 98 % 6,2 МВА. Напряжение, в свою очередь, в летний дополнительный режимный день было 10,3 кВ на шинах и около 9,9 кВ на концах отходящих линий по сообщению потребителей. В зимний режимный день напряжение на шинах было 10,1 кВ и около 9,67 на концах отходящих линий по сообщению потребителей. Так же, поступали жалобы от некоторых потребителей на пониженное напряжение в розетках в бытовых розетках, колебания в зависимости от времени суток были от 185 В до 220 В

Данная проблема в связи с ростом потребителей и активного прироста населения города стоит крайне остро. Несмотря на имеющиеся возможности регулировки напряжения на подстанциях города, так или иначе необходимо установить СКРМ в явно проблемные места энергосети города Краснодара, увеличить пропускную способность сети посредством изменения сечения линий и длины отходящих линий [4, 5], провести модернизацию и увеличение мощностей трансформаторов [6, 7], установить возможность регулировки напряжения трансформатора под нагрузкой дистанционно с диспетчерского щита краснодарских электрических сетей [8, 9].

Список литературы:

1. Коробейников Б.А., Оплаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Перспективы применения математических моделей систем электроснабжения в координатах обобщенного вектора // Наука. Новое поколение. Успех. материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. – Краснодар, 2021. – С. 324–327.
2. Коробейников Б.А., Ищенко А.И. Математические методы в электроэнергетике : монография. – Краснодар, 2017. – С. 157.
3. Попов Б.К., Карандей В.Ю. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008 г.
4. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 494 с. (Электроустановки промышленных предприятий).
5. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с. (Электроустановки промышленных предприятий).
6. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
7. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под. ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
8. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2-х т. Т. 1. Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

УДК 621.313-57+621.316.925

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ
35 КВ И 110 КВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Антипов Даниил Сергеевич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Карандей Владимир Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий
Смазнов Юрий Алексеевич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Фишер Николай Андреевич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Шеремет Владимир Александрович	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Ярмонов Сергей Владимирович	Кубанский государственный технологический университет магистрант

Аннотация. В статье приведено исследование режимов работы электрических подстанций 35 кв и 110 кв в зависимости от температуры.

Ключевые слова: регулирование напряжения, падение напряжения, автоматизация регулировки напряжения, пропускная способность сети, средства компенсации реактивной мощности.

В периоды высоких температур и летних и зимних пиковых нагрузок потребление электроэнергии в сети вырастает, а летом вдобавок к нагрузкам повышается и температура оборудования, КЛ, ВЛ и коммутационных аппаратов, находящихся как в КРУ/ЗРУ/КРУЭ, так и на ОРУ [1, 2]. В связи с этим могут возникать эксплуатационные проблемы в электроэнергетических системах [3, 4]. В случае падения напряжения могут наблюдаться сбои работе элементов систем электроснабжения, уменьшая эффективность, что может приводить к перегреву или выходу из строя электрооборудования [5, 6]. Нередко имеют место случаи их поломок, существенного износа и даже возгорания. Следовательно, для нормальной работы электроэнергетической системы требуется выполнение требований по поддержанию необходимого уровня предусмотренного характеристиками напряжения в электрической системе. Уровень напряжения зависит от электрических нагрузок на электрических подстанциях. На рисунках 1–2 представлены зависимости нагрузки и напряжения от температуры на электрических подстанциях 35 кв и 110 кв.

Исследование режимов работы электрических подстанций 35 кв и 110 кв в зависимости от температуры позволит оценить степень влияния пониженного напряжения на эффективность их работы системы электроснабжения и электрооборудования.



Рисунок 1 – Зависимость нагрузки и напряжения от температуры на ПС 35кВ Хутор Ленина



Рисунок 2 – Зависимость нагрузки и напряжения от температуры на ПС 110кВ Пашковская

Список литературы:

1. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 494 с. – (Электроустановки промышленных предприятий).
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с. – (Электроустановки промышленных предприятий).
3. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
4. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под. ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
5. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2-х т. Т. 1. Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

УДК 621.31+62-83

**К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО
К УПРАВЛЯЕМУ КАСКАДНОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ПРИВОДУ****Афанасьев
Виктор Леонидович****Кубанский государственный технологический университет**
старший преподаватель**Карандей
Владимир Юрьевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой электроснабжения
промышленных предприятий**Ярмонов
Сергей Владимирович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант**Фишер
Николай Андреевич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант

Аннотация. В статье приведен анализ методов оптимизации применительно к управляемым каскадным электрическим приводам и их компонентам.

Ключевые слова: специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, методы оптимизации, линейное программирование, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

При решении различных проблем проектирования управляемых каскадных электрических приводов [1] возникают многовариантные задачи. Среди большого количества всевозможных способов их решения [2, 3] необходимо выбрать наиболее подходящие при различных ограничениях, налагаемых на объект исследования. Неправильно выбранный подход в современных реалиях производства может привести к значительным потерям, как в электро-механических, так и массо-габаритных показателях электрических приводов. В связи с этим возникла необходимость проводить анализ различных математических подходов с применением современной вычислительной техники. Однако применение классических методов, основанных на аппарате дифференциального исчисления, приводит к различным вычислительным трудностям, что делает соответствующий аппарат неэффективным. Эффективным инструментом решения аналогичных задач стали специальные методы поиска экстремума.

Модель задачи математического программирования включает:

1) совокупность неизвестных величин, влияющих на достижение сформулированной цели;

2) целевую функцию (функцию цели, показатель эффективности, критерий оптимальности, функционал задачи и др.) – функцию, в математической форме выражающую поставленную цель с точки зрения выбранного критерия оптимальности;

3) условия (или систему ограничений), налагаемые на неизвестные величины. Эти условия следуют из ограниченности ресурсов, которыми располагает общество в любой момент времени, из необходимости удовлетворения насущных потребностей, из условий производственных и технологических процессов.

В настоящее время при проектировании современных электрических приводов [4] наибольшее распространение получили следующие методы оптимизации, применяемые в электроэнергетике [5]: методы исследования функций классического анализа, методы, основанные на использовании неопределенных множителей Лагранжа, вариационное исчисление, динамическое программирование, принцип максимума, линейное программирование, нелинейное программирование.

На сегодняшний день разработан и успешно применяется метод геометрического программирования для различного класса задач, в частности относительно его применения в электроэнергетике.

В ходе проведенного анализа методов оптимизации [6–8] применительно к управляемым каскадным электрическим приводам был сделан выбор в пользу метода геометрического программирования

Метод геометрического программирования является наиболее оптимальным применительно к оптимизации исследуемых электротехнических устройств [9–11], так как данный метод программирования относится к нелинейным методам программирования и использует теорию двойственности, так как по теории двойственности, построенной по правилам геометрического программирования, функция является выпуклой и имеет только один экстремум. Как доказано в теории в теории геометрического программирования минимум прямой программы равен максимуму двойственной программы.

Список литературы:

1. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.
2. Андреева, Е.А. Вариационное исчисление и методы оптимизации. – М. : Высшая школа, 2006. – 584 с.
3. Аттетков А.В., Зарубин В.С., Канатников А.Н. Методы оптимизации : учебное пособие. – М. : ИЦ РИОР, НИЦ Инфра-М, 2013. – 270 с.
4. А.Е. Козярук. Современные эффективные электроприводы производственных и транспортных механизмов // Электротехника. – 2019. – № 3. – С. 33–37.
5. Варганова А.В. О методах оптимизации режимов работы я систем и сетей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2017. – Т. 17. – № 3. С. 76–85..
6. Ганджа С.А. Оптимальное проектирование электроприводов на базе вентильных электрических машин с аксиальным зазором // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2009. – № 34 (167). – С. 68–72.
7. Авилов В.Д., Исмаилов Ш.К. Решение проблемы оптимизации коммутационного процесса в электрических машинах постоянного тока // Известия Транссиба. – 2012. – № 4 (12). – С. 2–9.
8. Котов А.А., Неустроев Н.И., Чуйдук И.А. Разработка математической модели асинхронизированного синхронного ветрогенератора для задачи оптимизации основных геометрических размеров на основе обобщенных переменных // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – № 33. – С. 78–98.
9. Оптимизация элемента каскадного электропривода – цилиндрического электродвигателя постоянного тока / В.Ю. Карандей [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 3. – С. 138–146.
10. Применение метода геометрического программирования для исследования оптимальных параметров специальных электрических приводов / В.Ю. Карандей [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 5(163). – С. 36–45. – DOI : 10.26730/1816-4528-2022-5-36-45.
11. Оптимизация системного узла управляемого каскадного электропривода – цилиндрического асинхронного электродвигателя / В.Л. Афанасьев [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 5. – С. 135–144.

УДК 681.51

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОДНОТИПНЫХ ОБЪЕКТОВ
ИЛИ ОБЪЕКТА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ****Д.Е. Афанасьев****ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера
им. В.П. Ларионова СО РАН**
доктор технических наук, профессор**Р.П. Ли-Фир-Су****ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера
им. В.П. Ларионова СО РАН**
научный сотрудник
lifirsu@mail.ru

Аннотация. Известные способы определения средней температуры объектов (объекта) достаточно сложны технически из-за своей ресурсоемкости и малоэффективны в режимном отношении из-за дискретности во времени. Предлагается простой в техническом исполнении, низкоресурсоемкий способ получения непрерывной информации о средней температуре однотипных объектов или объекта с распределенными параметрами.

Ключевые слова: однотипные объекты, объект с распределенными параметрами, средняя температура, развертывающее-свертывающее устройство.

Системы централизованного контроля и регулирования (многоточечные регуляторы) температуры большого числа объектов построены по двум принципам: поддержание температуры каждого из контролируемых объектов строго равной заданной; поддержание средней температуры нескольких однотипных по режиму объектов, равной заданной, получившие название «регулирование по среднестатистической температуре». Ко второй группе относится и регулирование режима работы одного объекта с распределенными параметрами по средней температуре в нескольких его характерных точках [1].

В системах централизованного контроля и регулирования температуры однотипных объектов или объекта с распределенными параметрами известен способ определения средней температуры, включающий последовательный обегаяющий опрос показаний датчиков-термосопротивлений, запоминания на каждой ступени опроса измеренной температуры, суммирование данных и деление полученной суммы на число датчиков.

Наличие в известном способе операций последовательного опрашивания датчиков, запоминания измеренной температуры на каждой ступени опроса, их суммирования и деления полученной суммы на число датчиков существенно усложняет схему системы измерения.

Предлагаемый способ [2] определения средней температуры не имеет этих недостатков и осуществляется без разделения во времени операций опрашивания, запоминания, суммирования и деления, а автоматически выполняя эти операции как единое целое и постоянно обеспечивая устройство сравнения непрерывной во времени информацией о средней температуре однотипных объектов или объекта с распределенными параметрами.

Объединение указанных выше операций в одну с получением конечного результата в виде средней температуры объектов (объекта) достигается применением в качестве системы измерения температуры многоплечьевого уравновешенного моста из последовательно-параллельно соединенных термосопротивлений, служащих датчиками температур в однотипных объектах или в нескольких характерных точках объекта с распределенными параметрами; причем, число последовательно соединенных между

собой термосопротивлений-датчиков, установленных по одному в каждой группе однотипных объектов или в каждой зоне объекта с распределенными параметрами, на которые они предварительно подразделяются по принципу близости средних температур, равно числу параллельно соединенных между собой плеч моста, число которых, в свою очередь, равно числу групп или зон (рис. 1).

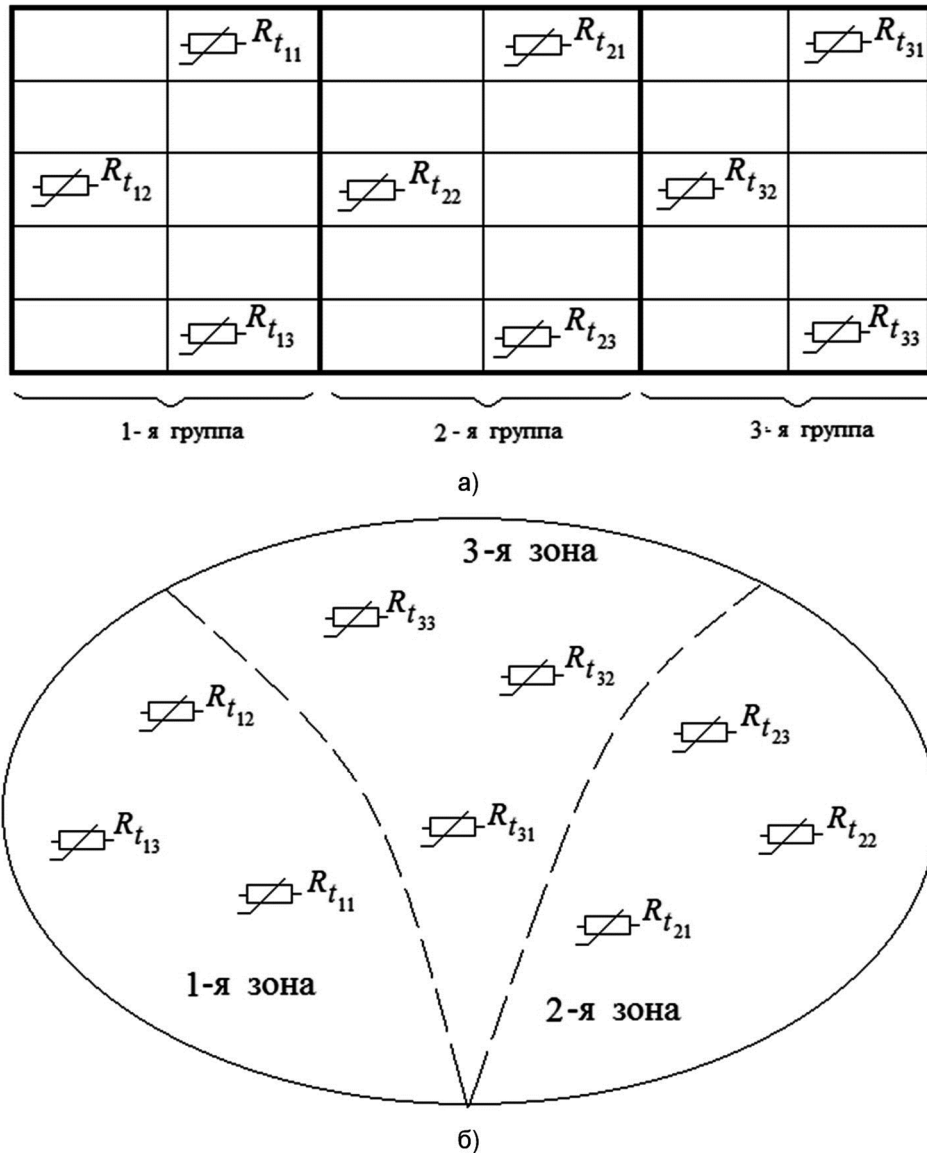


Рисунок 1 – Система измерения температуры:

- а) в однотипных объектах, разделенных на 3 группы по уровню средней температуры;
б) в объекте с распределенными параметрами с 3 зонами, имеющими свой уровень средней температуры

Объединяя процессы измерения, суммирования, деления показаний большого количества датчиков и выдавая результат в виде измеренной средней температуры в разных объектах (точках) такой многоплечий уравновешенный мост, по существу, является разворачивающим-свертывающим устройством между объектом исследования и органом сравнения без коммутации тока, что существенно упрощает систему контроля за температурным режимом объектов (объекта), повышает ее надежность и эффективность.

Повышение точности определения средней температуры достигается увеличением общего числа датчиков, количество, порядок включения каждого из которых в схему уравновешенного моста термосопротивлений соответствует принципу построения квадратной матрицы (рис. 2).

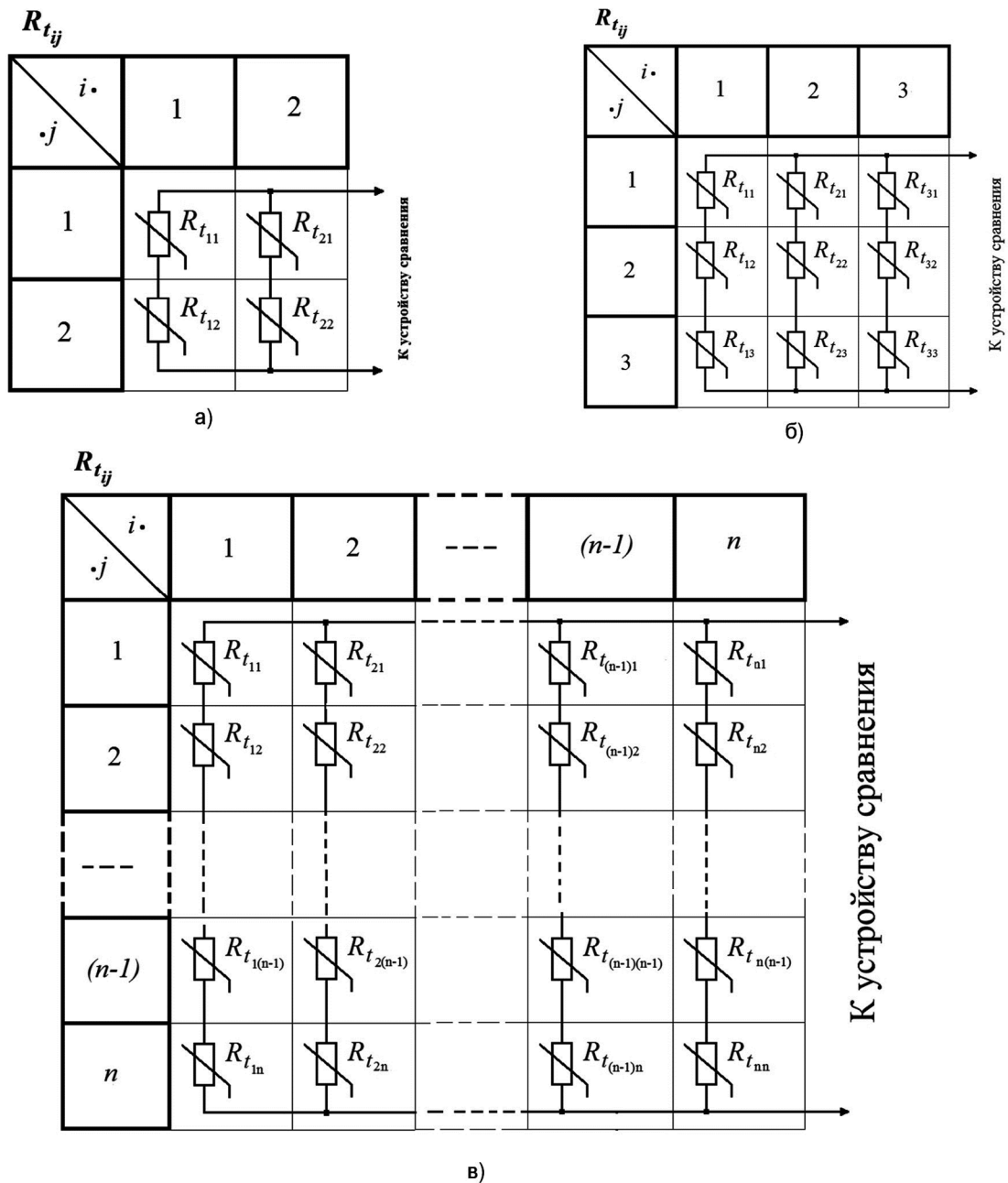


Рисунок 2 – Схема измерения средней температуры однотипных объектов или объекта с распределенными параметрами: а) 4-х однотипных объектов (4-х точек объекта с распределенными параметрами); б) 9-ти объектов (9-ти точек); в) n объектов (n точек)

Выводы:

1. Предложен способ определения средней температуры однотипных объектов или объекта с распределенными параметрами, включающий измерение температуры датчиками, установленными в однотипных объектах или в нескольких характерных точках объекта с распределенными параметрами, суммирование показаний датчиков, деление полученной суммы на число датчиков. Непосредственное определение средней температуры датчиков (измерение температур в разных точках, суммирование измеренных температур, деление полученной суммы на число датчиков и выдача результата в виде величины средней температуры объектов (объекта)) осуществляется развертывающим-свертывающим устройством, представляющим собой многоплечий уравновешенный мост из соединенных между собой последовательно–параллельно датчиков-термосопротивлений, два выхода которого подключены к входам устройства сравнения.

2. Для повышения надежности и качества измерения элементы многоплечьего уравновешенного моста термосопротивлений–датчиков подбираются таким образом, чтобы число последовательно соединенных термосопротивлений в каждом из плеч было равно числу параллельно соединенных между собой плеч моста.

3. Для повышения точности определения средней температуры объектов (объекта) увеличение числа датчиков в системе осуществляется согласно принципу построения квадратной матрицы, у которой число столбцов (число плеч моста) равно числу ее строк (число последовательно соединенных термосопротивлений в каждом из плеч моста, то есть числу групп однотипных объектов или зон объекта с распределенными параметрами).

Список литературы:

1. Энергосберегающие и ресурсоактивирующие электромагнитные технологии в сельском хозяйстве Якутии / Д.Е. Афанасьев [и др.]. – Якутск : Изд. дом СВФУ, 2021. – С. 296–306.
2. Афанасьев Д.Е., Седалищев В.А., Васильев П.Ф., Ли-Фир-Су Р.П., Афанасьев А.Д. Способ определения средней температуры однотипных объектов или объекта с распределенными параметрами. Патент РФ № 2691750. – 2019.

УДК 621.311

МАТРИЧНЫЙ РАСЧЕТ ТОКОВ В РАЗВЕТВЛЕННОЙ СЕТИ ПРИ НЕИЗМЕННЫХ ЗАДАННЫХ НАГРУЗКАХ

**Богдан
Александр Владимирович**

Кубанский государственный аграрный университет
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ
alina48av@mail.ru

**Богдан
Александр Владимирович
(мл)**

Кубанский государственный аграрный университет
студент
prostovvti@mail.ru

Аннотация. Предложен алгоритм матричного расчета токов при заданных нагрузках в распределительной сети, построенный по методу Ньютона.

Ключевые слова: матрица, сопротивление ветви нагрузки, напряжение, ток ветви, система уравнений, итерация.

З адачей расчета рабочего режима сети является определение значений токов в отдельных элементах, напряжений в отдельных узлах или наибольших потерь напряжения в сети. Кроме того для оценки экономичности работы сети приходится определять потери активной мощности и потери энергии за год.

При расчете рабочего режима электрической сети ветви нагрузки могут быть представлены [1] постоянными сопротивлениями определенными по номинальному напряжению

$$Z = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{зад}}} = R_{\text{зад}} + j \cdot X_{\text{зад}},$$

заданными неизменными нагрузками

$$S_{\text{зад}} = P_{\text{зад}} + j \cdot Q_{\text{зад}}$$

и статическими характеристиками.

Электрическая сеть напряжением 6–10 кВ или 0,38 кВ состоит их большого количества ветвей и узлов. Равенство номинального напряжения для всей расчетной схемы дает возможность вести определение ее токов и напряжений только по собственным сопротивлениям ветвей, так как взаимные сопротивления (трансформаторные) отсутствуют.

В конечном счете получение токов и напряжений сводится к решению системы алгебраических уравнений [2, 3]. Если нагрузки заданы сопротивлениями, и сопротивлениями заданы соединительные линии, то в матричной записи уравнение закона Ома представляется сразу для всех ветвей схемы независимо от их взаимного соединения

$$Uv = ZIv - Ev,$$

где Ev – матрица-столбец э.д.с. ветвей; Iv – матрица-столбец токов. ветвей; Z – квадратная матрица сопротивлений ветвей схемы.

Величина токов ветвей находится по простому алгоритму:

$$- \text{ матрица узловых э.д.с. } Eu = M \cdot Z^{-1} \cdot Ev, \quad (1)$$

$$- \text{ матрица узловых проводимостей } Yu = M \cdot Z^{-1} \cdot M^T, \quad (2)$$

$$- \text{ матрица напряжений узлов } Uu = Yu^{-1}(J - Eu), \quad (3)$$

$$- \text{ матрица токов ветвей } Iv = Z^{-1}(M^T \cdot Uu + Ev). \quad (4)$$

Матрица J является матрицей-столбцом задающих токов, записанных по номерам узлов.

Диагональные элементы матрицы Y_u являются собственными проводимостями схемы между соответствующими узлами и базисным узлом, а остальные – общими проводимостями для узлов, номера которых указаны в их индексах.

Если сопротивления в схеме постоянны, то на этом расчет токов прекращается так как система уравнений узловых потенциалов, решаемая в данном случае по методу обратной матрицы, линейна. При неизменных заданных мощностях нагрузки сопротивления, которыми представлены нагрузки в электрической схеме замещения зависят от напряжения на них и система уравнений узловых потенциалов становится нелинейной.

Известно, что одним из быстродействующих методов решения таких систем является метод Ньютона. В этом случае процесс решения становится итерационным, повторением (1–4). Корректировка по методу Ньютона проводится для сопротивлений ветвей нагрузки. Начальное значение сопротивления нагрузки определяем по номинальному напряжению сети и заданной мощности нагрузки

$$z = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{нг}}} \quad (5)$$

Формула Ньютона для итерационного приближения величины сопротивления ветви нагрузки

$$z_i = z_{i-1} - \frac{f(z_{i-1})}{f'(z_{i-1})} \quad (6)$$

Функцию $f(z)$ представим в виде $f(z) = \frac{U^2}{z} - S_{\text{зад}}$, и её производная $f'(z) = -\frac{U^2}{z^2}$.

Тогда дробь $\frac{f(z)}{f'(z)}$ для значений напряжения и тока на шаге итерации представляется в виде

$$\frac{f(z_{i-1})}{f'(z_{i-1})} = \frac{\frac{U_{z,\text{расч}}^2}{z_{\text{расч}}} - S_{\text{зад}}}{-\frac{U_{z,\text{расч}}^2}{z_{\text{расч}}^2}} = -\left(z_{\text{расч}} - \frac{z_{\text{расч}} \cdot S_{\text{зад}}}{\frac{U_{z,\text{расч}}^2}{z_{\text{расч}}}} \right) = -z_{\text{расч}} \left(1 - \frac{S_{\text{зад}}}{S_{\text{расч}}} \right),$$

где $U_{z,\text{расч}}$ – расчетное напряжение на переменном сопротивлении нагрузки $z_{\text{расч}}$, которым моделируется заданная нагрузка узла.

В итоге для (6) имеем формулу Ньютона (7) для итерации относительно сопротивления цепи нагрузки при расчете его величины соответствующей заданной мощности нагрузки.

$$z_i = z_{i-1} + z_{i-1} \left(1 - \frac{S_{\text{зад}}}{S_{\text{расч},i-1}} \right) = z_{i-1} \left(2 - \frac{S_{\text{зад}}}{S_{\text{расч},i-1}} \right) \quad (7)$$

Так как расчет проводится в комплексной форме, то итерационное приближение проводится отдельно для активной R_k и реактивной X_k составляющих сопротивления k -й нагрузки для i -й итерации:

$$R_{k,i} = R_{k,i-1} \left(2 - \frac{P_{\text{зад},k}}{\text{Re}(S_{\text{расч},k,i-1})} \right),$$

$$X_{k,i} = X_{k,i-1} \left(2 - \frac{Q_{\text{зад},k}}{\text{Im}(S_{\text{расч},k,i-1})} \right).$$

Количество итераций определяется заданным максимальным отклонением расчетной мощности от заданной.

После определения токов в ветвях схемы распределительной сети потери напряжения в любой продольной j -той ветви находятся по формуле:

$$\Delta U_j = \sqrt{3} (I_{aj} R_j + I_{pj} X_j),$$

где I_{aj} и I_{pj} – активная и реактивная составляющие комплекса тока; R_j и X_j – активное и реактивное сопротивление ветви.

Потери активной мощности в любой продольной j -той ветви схемы определяются по формуле:

$$\Delta P_j = 3I_j^2 R_j,$$

а в любой группе из m ветвей (независимо от схемы их соединения)

$$\Delta P = \sum_{j=1}^m \Delta P_j = 3 \sum_{j=1}^m I_j^2 R_j.$$

Определение сопротивлений по (7) дает величины расчетных потерь в распределительной сети значительно больше, чем при использовании постоянных сопротивлений в схеме замещения нагрузок.

Список литературы:

1. Электрические системы. Электрические сети : учебник для электроэнергетических специальностей вузов / В.А. Строев [и др.]. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1998. – 511 с.
2. Алгоритмы определения схемы сети 6–10 кВ с меньшими технологическими потерями / А.В. Богдан [и др.] // Сельский механизатор. – 2022. – № 1. – С. 39–42.
3. Богдан А.В., Нетребко Д.С., Заболотный А.С. Сравнение мероприятий по уменьшению потерь в электрических сетях 6–10 кВ городов Краснодарского края // Изв. вузов. Электромеханика. – 2013. – № 1. – С. 61–62.

УДК 621.3.048

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА НЕПРЕРЫВНОГО БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ И ЕГО ВЕРИФИКАЦИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ****Галиева
Татьяна Геннадьевна****Казанский государственный энергетический университет**
ассистент кафедры «Теоретические основы электротехники»
79534929817@ya.ru**Иванов
Дмитрий Алексеевич****Казанский государственный энергетический университет**
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Промышленная электроника»
divanale@gmail.com**Малаева
Ева Денисовна****Казанский государственный энергетический университет**
бакалавр 3 курса кафедры «Промышленная электроника»
malaeva_eva01@mail.ru

Аннотация. Метод контроля состояния изоляции по характеристикам сигналов частичных разрядов (ЧР) является общепринятым методом неразрушающего контроля. Этот метод позволяет выявить дефекты изоляции на начальной стадии их возникновения, отследить их развитие, оценить текущее состояние изоляции и возможность дальнейшей эксплуатации оборудования. В работе предлагается регистрировать средний уровень мощности электромагнитного излучения (ЭМ) с накоплением по периоду фазы сетевого напряжения с целью определения ЧР в изоляции.

Ключевые слова: частичный разряд, высоковольтный изолятор, метод контроля высоковольтных изоляторов, лабораторный стенд.

При периодической диагностике практически невозможно выявить тенденцию ухудшения изоляции. Вероятность обнаружения дефектов изоляции при мониторинге существенно зависит от погоды во время измерений, поскольку частичные разряды (ЧР) с наибольшей амплитудой возникает в период высокой влажности окружающей среды [1].

Метод контроля состояния изоляции по характеристикам сигналов ЧР является общепризнанным методом неразрушающего контроля высоковольтных изоляторов. Этот метод позволяет выявлять дефекты изоляции на ранних стадиях их появления, отслеживать их развитие, оценивать текущее состояние изоляции и возможность дальнейшей эксплуатации оборудования [2].

В связи с этим разработка непрерывного метода дистанционного «онлайн» мониторинга изоляторов с помощью определения ЧР, позволяющего выявлять дефекты в изоляционном оборудовании и оценивать уровень его технического состояния, является актуальной задачей на сегодняшний день.

Для реализации метода и проведения лабораторных экспериментов был разработан лабораторный стенд [3] (рис.1). Для регистрации ЭМ излучения ЧР мы создали измерительную ячейку (далее – Прототип) (справа на рис.1), состоящую из следующих элементов.

На лабораторном стенде одновременно проводилось измерение ЧР двумя методами: электрическим (в соответствии с ГОСТ Р 55191-2012 [4]), и электромагнитным методом по следующему алгоритму: 1. Сохранение массива данных с ЭМ приемника и датчика фазы; 2. Разбиение массива данных на интервалы длительностью 1 период сетевого напряжения; 3. Почленное сложение и деление на число итераций (10 тыс. периодов); 4. Построение фазовых характеристик; 5. Сохранение результатов и визуализация.

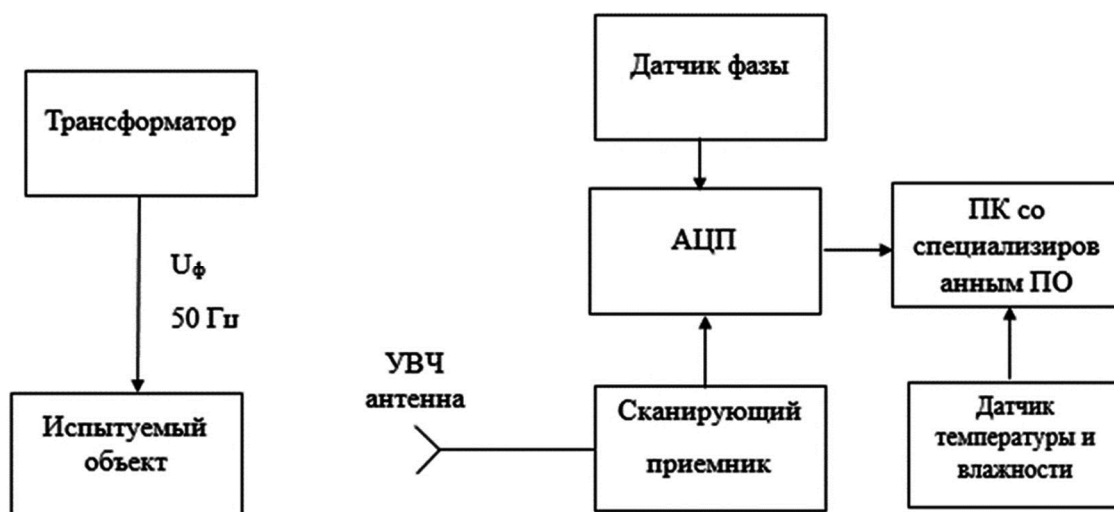


Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента

На рисунке 2. представлено амплитудное распределение ЧР, полученное за 1 период сетевого напряжения электрическим методом.

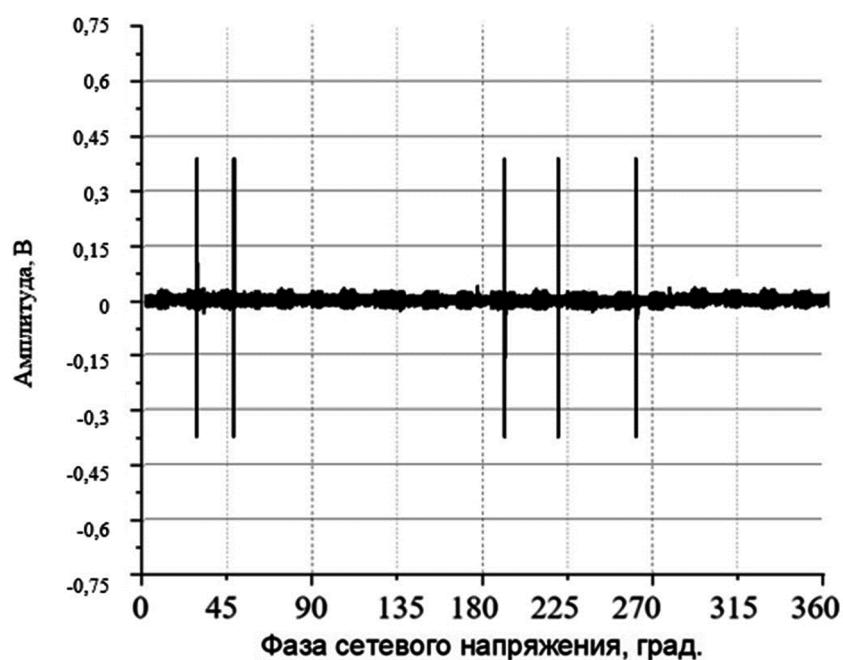


Рисунок 2 – Алгоритм работы метода синхронного накопления

На рисунке 3 представлено фазовое распределение ЧР, полученное методом измерения среднего уровня мощности ЭМ излучения с синхронным накоплением по фазе сетевого напряжения. Данные по мощности ЭМ излучения переведены в напряжение и представлены в вольтах с целью сравнения с электрическим методом.

Приведенная погрешность разработанного в работе метода в сравнении с электрическим методом по началу возникновения ЧР составила 5 %, что говорит о работоспособности метода.

Вывод: разработан метод непрерывного бесконтактного контроля технического состояния ВИ, регистрирующий ЧР в ВИ. Метод основан на регистрации среднего уровня мощности ЭМ излучения и синхронного накопления по фазе сетевого напряжения.

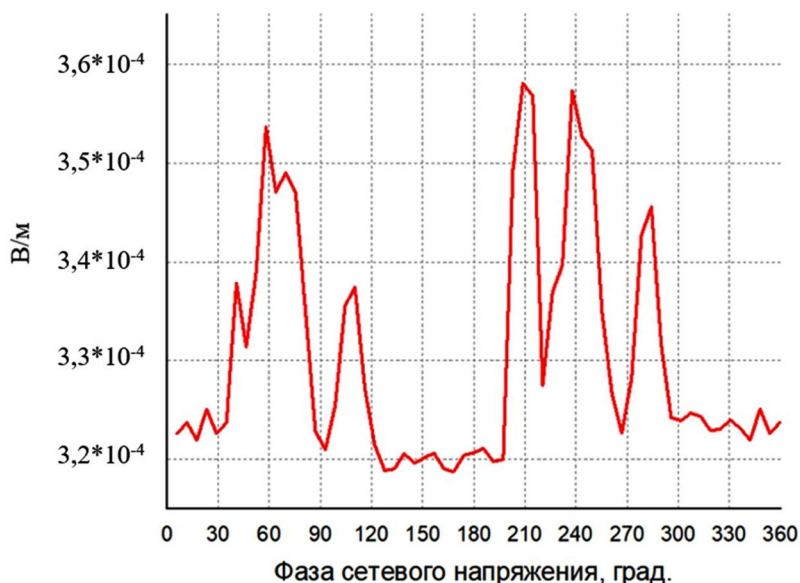


Рисунок 3 – Фазовое распределение ЧР, полученное разработанным методом (ось x – фаза сетевого напряжения в градусах, ось y – напряженность поля в зоне измерения ЧР, В/м)

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (соглашение № 075-03-2022-151 от 14.01.2022).

Список литературы:

1. Русов В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. – Екатеринбург : УрГУПС, 2011. – С. 40.
2. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. – Новосибирск : Наука, 2007. – С. 155.
3. Лабораторный стенд для разработки метода и системы непрерывного бесконтактного неразрушающего контроля технического состояния изоляционного оборудования / Т.Г. Галиева [и др.] // Омский научный вестник. – 2021. – № 5(179). – С. 80–87.
4. ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000)*. Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов. Дата введения 2014-01-01.

УДК 621.365

**СИСТЕМА ИНДУКЦИОННОГО ПОДОГРЕВА КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК
ПЕРЕД РАСКАТКОЙ****Данилушкин
Александр Иванович****Самарский государственный технический университет**
доктор технических наук, профессор
aidanilushkin@mail.ru**Колпаков
Дмитрий Викторович****Самарский государственный технический университет**
аспирант
sward63rus@mail.ru

Аннотация. Рассматривается задача создания индукционной установки для подогрева кольцевых заготовок перед раскаткой. Показаны особенности разработки индукционного нагревателя, обусловленные неравномерным температурным распределением по объему заготовки. Рассмотрены вопросы моделирования электромагнитных и тепловых полей в системе «индуктор–металл» с учетом конструктивных особенностей нагреваемой заготовки. Моделирование электромагнитных полей осуществляется с учетом некритичных в рассматриваемой ситуации допущений. Для реализации требований к конечному температурному распределению предложена конструкция индукционной системы в виде дисковых катушек, расположенных с торцевых поверхностей заготовки.

Ключевые слова: индукционный нагрев, моделирование, мощность, температура, частота, конструкция.

Технологический процесс производства колес и бандажей включает в себя комплекс операций по нагреву заготовок в газовой печи, осадке и обжатию на прессах, транспортировке, прошивке отверстий, и последующей горячей раскатке кольцевых заготовок. Температурное поле кольцевой заготовки после всех рассмотренных операций становится неравномерным, на краях наблюдается недопустимое переохлаждение.

В то же время температурное поле является одним из факторов, влияющих на качество готового изделия и производительность технологической линии раскатки. Значительное отклонение температуры от требуемой по технологии в отдельных частях заготовки неминуемо ведет к браку в ходе завершающей операции – раскатки. Распределение температуры по сечению заготовки перед раскаткой неравномерное. Температура на нижней торцевой поверхности (левая кромка) имеет значения, не позволяющие проводить раскатку кольца, так как это приведет к появлению трещин на поверхности. Среди причин, обусловивших такое неравномерное распределение температуры, можно отметить особенности транспортирования заготовки по технологической линии, когда наибольшие тепловые потери имеют место всегда на одной торцевой поверхности, обращенной к рольгангу.

Для устранения этой неравномерности в технологическую линию перед раскаткой дополнительно вводится система индукционного нагрева.

Кольцевая заготовка после выхода из пресса поступает по рольгангу к индукционной установке, которая состоит из двух плоских индукторов, между которыми помещается обрабатываемая заготовка. Индукторы получают питание от преобразователя частоты мощностью 500 кВт. В зависимости от внешнего диаметра заготовки число витков катушки индуктора может изменяться.

Для расчета параметров индукционной системы используется математическая модель процесса индукционного нагрева металла в виде системы дифференциальных уравнений Максвелла и Фурье [1, 2] соответственно для электромагнитного и теплово-

го полей. Характер электромагнитной и тепловой задач, даже при условии постоянства коэффициентов исходных уравнений, существенно зависит от граничных условий, которые, в общем случае, являются нелинейными.

В целях получения приемлемой математической модели процесса индукционного нагрева принимаются некоторые допущения, значительно упрощающие формализацию процесса при вполне удовлетворительной точности результатов [3–5]:

1. Рассматривается двумерная осесимметричная область, где индукция B и напряженность H магнитного поля имеют две составляющие – по радиусу и по длине заготовки.

2. Поле принимается квазистационарным, относительно низкая частота внешнего тока ($f = 2500$ Гц) позволяет пренебречь токами смещения по сравнению с токами проводимости в металле.

3. На всей поверхности заготовки принимаются одинаковые граничные условия II или III рода с некоторым линеаризованным коэффициентом теплообмена.

Принятые допущения позволяют осуществить раздельное решение электромагнитной и тепловой задач.

Учитывая осевую симметрию и квазистационарность исследуемого поля, исходная электромагнитная задача может быть представлена для комплексной амплитуды векторного потенциала $A(r, z)$ в виде

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{1}{\mu_a(r, z)} \cdot \frac{\partial A(r, z)}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{1}{\mu_a(r, z)} \cdot \frac{\partial A(r, z)}{\partial r} \right] - j\omega A - J_0(r, z) = 0, \quad (1)$$

где r и z – радиальная и осевая координаты соответственно, A – векторный магнитный потенциал, $\mu_a = \mu \cdot \mu_0$ – абсолютная магнитная проницаемость среды, j – удельная электрическая проводимость, $\omega = 2\pi f$ – частота питающего тока.

В качестве граничных условий приняты наиболее общие условия – равенство нулю векторного потенциала на границе расчетной области, находящейся в бесконечности. Температура заготовки по всему объему перед входом в индукционный нагреватель находится в диапазоне $960 \div 1060$ град, что значительно выше точки Кюри. Это обстоятельство позволяет рассматривать заготовку как немагнитную загрузку.

В целях получения упрощенной математической модели температурных полей принимаются некоторые допущения, позволяющие формализовать процесс нагрева с удовлетворительной для практических результатов точностью. При сравнительно небольшом диапазоне изменения температур заготовки в процессе ее подогрева с соответствующими малыми изменениями теплофизических характеристик в работе используется аналитическая модель температурного поля на этой стадии технологического процесса с неравномерным начальным температурным распределением.

Учитывая приведенные выше допущения, исследуемый процесс при индукционном нагреве заготовки в форме ограниченного цилиндра можно представить в линейном приближении двумерным уравнением Фурье в цилиндрических координатах [6]

$$\frac{\partial T(r, z, t)}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial z^2} \right) + \frac{W(r, z, t)}{c\gamma} \quad (2)$$

при граничных условиях второго рода

$$\lambda \frac{\partial T(R_1, z, t)}{\partial r} = Q_1(R_1, z, t), \quad \lambda \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial z} = Q_2(r, z, t), \quad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial T(R_2, z, t)}{\partial r} = Q_3(R_2, z, t), \quad \lambda \frac{\partial T(r, 0, t)}{\partial z} = Q_4(r, 0, t). \quad (4)$$

Здесь R_1 – внешний радиус цилиндра, R_2 – внутренний радиус, $2z$ – высота заготовки.

$Q_1(t)$, $Q_2(t)$, $Q_3(t)$, $Q_4(t)$ – соответственно потоки тепловых потерь с внешней, внутренней боковых поверхностей и с торца цилиндра.

Предложенные модели используются для проектирования конструкции индуктора, реализующего распределенное управляющее воздействие по радиальной координате из условия достижения требуемого конечного состояния объекта.

Определение температурного поля нагреваемой заготовки сводится к решению уравнения теплопроводности Фурье с известной функцией распределения внутренних источников тепла, найденной в результате решения электромагнитной задачи.

Основная задача при разработке индукционной системы заключается в выборе конструкции индуктора, обеспечивающего заданное распределение источников внутреннего тепловыделения в заготовке.

Для проектирования индуктора используется конечно-элементная модель расчета электромагнитных устройств, позволяющая учесть все сложности формы нагреваемого тела и индуктора. Численный расчет электромагнитных и тепловых полей в системе «индуктор–металл» производится в программном комплексе ELCUT [7].

В качестве первого приближения принимается конструкция индуктора в виде двух дисковых катушек с равномерной намоткой вдоль радиальной координаты, расположенных с торцевых поверхностей заготовки. Результатами расчета являются частота питающего напряжения, число витков, шаг витков, параметры тепловой изоляции, величина зазора.

Список литературы:

1. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 280 с.
2. Лыков А.В. Теплообмен. (Справочник) – М. : Энергия, 1978. – 480 с.
3. Моделирование электромагнитных процессов в многослойной трехфазной индукционной цилиндрической системе / А.А. Базаров [и др.] // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2017. – № 3(55). – С. 50–60.
4. Демидович В.Б., Чмиленко Ф.В., Ситько П.А. Моделирование и оптимизация индукционных нагревателей мерных заготовок в кузнечном производстве // Индукционный нагрев. – 2013. – № 2(24). – С. 15–17.
5. Турбин В.В. Численное моделирование процесса проходного индукционного нагрева металла перед пластической деформацией [Электронный ресурс] / В.В. Турбин; Самарский государственный технический университет; созд. сайта ООО НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА – Электрон. ст. – Стерлитамак, 2017. – URL : elibrary_28099874_20152413.pdf. – Яз. рус. – С. 178–180.
6. Базаров А.А., Данилушкин А.И., Данилушкин В.А. Комплексное моделирование и управление процессом непрерывного индукционного нагрева ферромагнитных заготовок // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». – 2016. – Вып. № 2 (50). – С. 128–139.
7. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. Версия 5.9. – СПб. : Производственный кооператив TOP, 2009.

УДК 62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ЕГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА

**Добробаба
Юрий Петрович**

Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроснабжение промышленных предприятий»

**Кушнаренко
Андрей Петрович**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант Института энергетики и теплотехники
energodraiv@yandex.ru

Аннотация. Разработана методика для определения потребляемой мощности прецизионным электроприводом при оптимальных по быстродействию малых перемещениях его исполнительного органа.

Ключевые слова: оптимальная по быстродействию диаграмма, прецизионный электропривод, малые перемещения.

В статье [1] предлагается оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости, состоящая из пятнадцати этапов. Диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода выполнены в несимметричном исполнении и обеспечивает интенсивное торможение. В статье [1] представлены механические и электрические координаты электропривода, определены параметры данной диаграммы; приведены результаты численного эксперимента по нахождению механических, электрических параметров и потребляемой мощности якорной цепью двигателя в моменты переключений третьей производной угловой скорости электропривода.

Следующим этапом работы в статье [2] получены аналитические зависимости контролируемых координат от времени, что в дальнейшей работе позволит определить, какую энергию должен обеспечивать электромеханический источник бесперебойного питания при реализации предлагаемой диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода.

Целью данной работы является разработка оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода и определение мощности электромеханического источника бесперебойного питания.

В статье [3] представлена оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости, состоящая из двенадцати этапов. Для данной диаграммы определены параметры и построены механические координаты электропривода при отработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений его исполнительного органа.

На рисунке 1 представлены механические координаты электропривода при отработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода [3].

На рисунке приняты следующие обозначения:

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

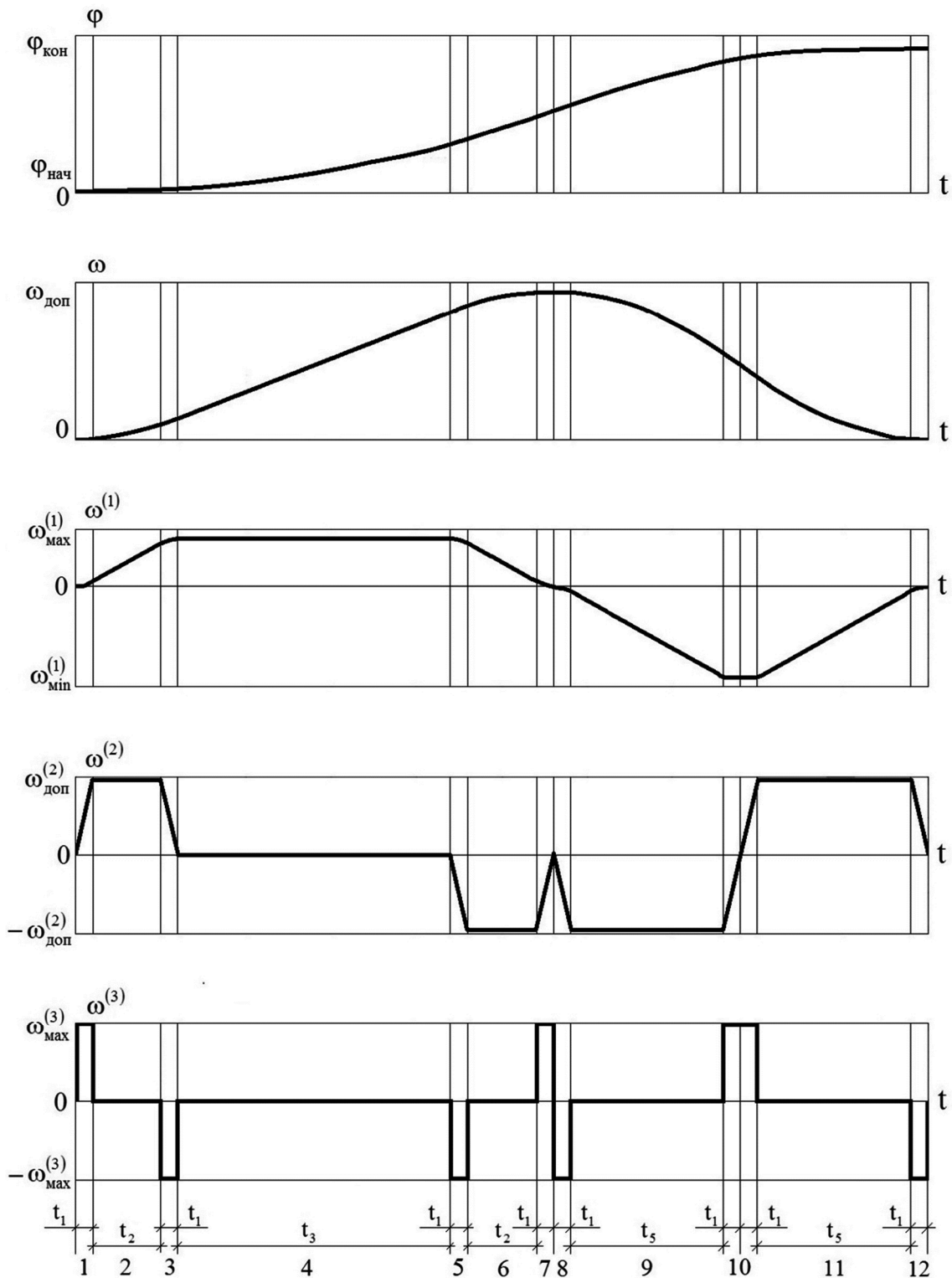


Рисунок 1 – Механические координаты электропривода при обработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода

$\omega^{(2)}$ – вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^3}$;

$\omega^{(3)}$ – третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^4}$;

t – время, с;

$\varphi_{нач}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{кон}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\omega_{доп}$ – максимальное значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega_{max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{min}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{доп}^{(2)}$ – максимальное допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$-\omega_{доп}^{(2)}$ – минимальное допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{max}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

$-\omega_{max}^{(3)}$ – максимальное отрицательное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

t_1 – длительность первого, третьего, пятого, седьмого, восьмого, десятого и двенадцатого этапов, с;

t_2 – длительность второго и шестого этапов, с;

t_3 – длительность четвертого этапа, с;

t_5 – длительность девятого и одиннадцатого этапов, с.

Для параметров оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода для малых перемещений справедливы следующие зависимости:

$$\omega_{max}^{(1)} = \frac{C_M I_{доп} - M_{CO}}{J};$$

$$t_1 = \frac{\omega_{доп}^{(2)}}{\omega_{max}^{(3)}};$$

$$t_2 = \frac{C_M I_{доп} - M_{CO}}{J \omega_{доп}^{(2)}} - t_1;$$

$$t_5 = \frac{C_M I_{доп} + M_{CO}}{J \omega_{доп}^{(2)}} - t_1;$$

$$t_3 = \frac{C_M I_{доп} + M_{CO}}{C_M I_{доп} - M_{CO}} \cdot \left[\frac{C_M I_{доп} + M_{CO}}{J \omega_{доп}^{(2)}} + t_1 \right] - \frac{C_M I_{доп} - M_{CO}}{J \omega_{доп}^{(2)}} - t_1;$$

$$\omega_{max} = \frac{C_M I_{доп} + M_{CO}}{J} \cdot \left[\frac{C_M I_{доп} + M_{CO}}{J \omega_{доп}^{(2)}} + t_1 \right].$$

Если $t_3 = 0$, то $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \varphi_{гр.1}$.

Первое граничное значение угла поворота равно

$$\varphi_{гр.1} = 2 \cdot \frac{C_M I_{доп} - M_{CO}}{J} \cdot \left[\frac{C_M I_{доп} - M_{CO}}{J \omega_{доп}^{(2)}} + \frac{\omega_{доп}^{(2)}}{\omega_{max}^{(3)}} \right]^2.$$

Если $\omega_{min} = -\frac{C_M I_{доп} + M_{CO}}{J}$, то $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \varphi_{гр.2}$.

Второе граничное значение угла поворота равно

$$\varphi_{гр.2} = \frac{C_M I_{доп} + M_{CO}}{J} \cdot \left[\frac{C_M I_{доп} + M_{CO}}{J \omega_{доп}^{(2)}} + \frac{\omega_{доп}^{(2)}}{\omega_{max}^{(3)}} \right]^2 \times$$

$$\times \left[\frac{2C_M I_{доп} - M_{CO}}{C_M I_{доп} - M_{CO}} \cdot \frac{\omega_{доп}^{(2)}}{\omega_{max}^{(3)}} + 2 \cdot \frac{C_M I_{доп}}{C_M I_{доп} - M_{CO}} \cdot \frac{C_M I_{доп}}{J \omega_{доп}^{(2)}} \right].$$

Рассматриваемый электропривод имеет параметры:

$$C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}; \quad C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}; \quad R_{я} = 5 \text{ Ом}; \quad L_{я} = 0,1 \text{ Гн};$$

$$J = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad U_{доп} = 250 \text{ В}; \quad I_{доп} = 8 \text{ А}; \quad \omega_{доп} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{доп}^{(2)} = 1000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{max}^{(3)} = 50000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}; \quad M_{CO} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\omega_{max}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$t_1 = 0,02 \text{ с}; \quad t_2 = 0,08 \text{ с}.$$

$$\varphi_{гр.1} = 2,88 \text{ рад}; \quad \varphi_{гр.2} = 275,2 \text{ рад}.$$

Рассмотрим частный случай.

$$(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = 22 \text{ рад},$$

$$\text{то } t_3 = 0,292863616 \text{ с}; \quad T_{ц} = 1,065727232 \text{ с}; \quad \omega_{max} = 41,2863616 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

На рисунке 2 представлены электрические координаты электропривода при отработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода. На рисунке 2 приняты следующие обозначения:

U – напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, В;

$I_{я}$ – ток якорной цепи электропривода, А;

$U_{доп}$ – допустимое значение напряжения, приложенного к якорной цепи электропривода, В;

$I_{доп}$ – допустимое значение тока якорной цепи электропривода, А;

$R_{я}$ – сопротивление якорной цепи электропривода, Ом;

C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом двигателя, В·с;

M_{CO} – момент сопротивления электропривода, Н·м.

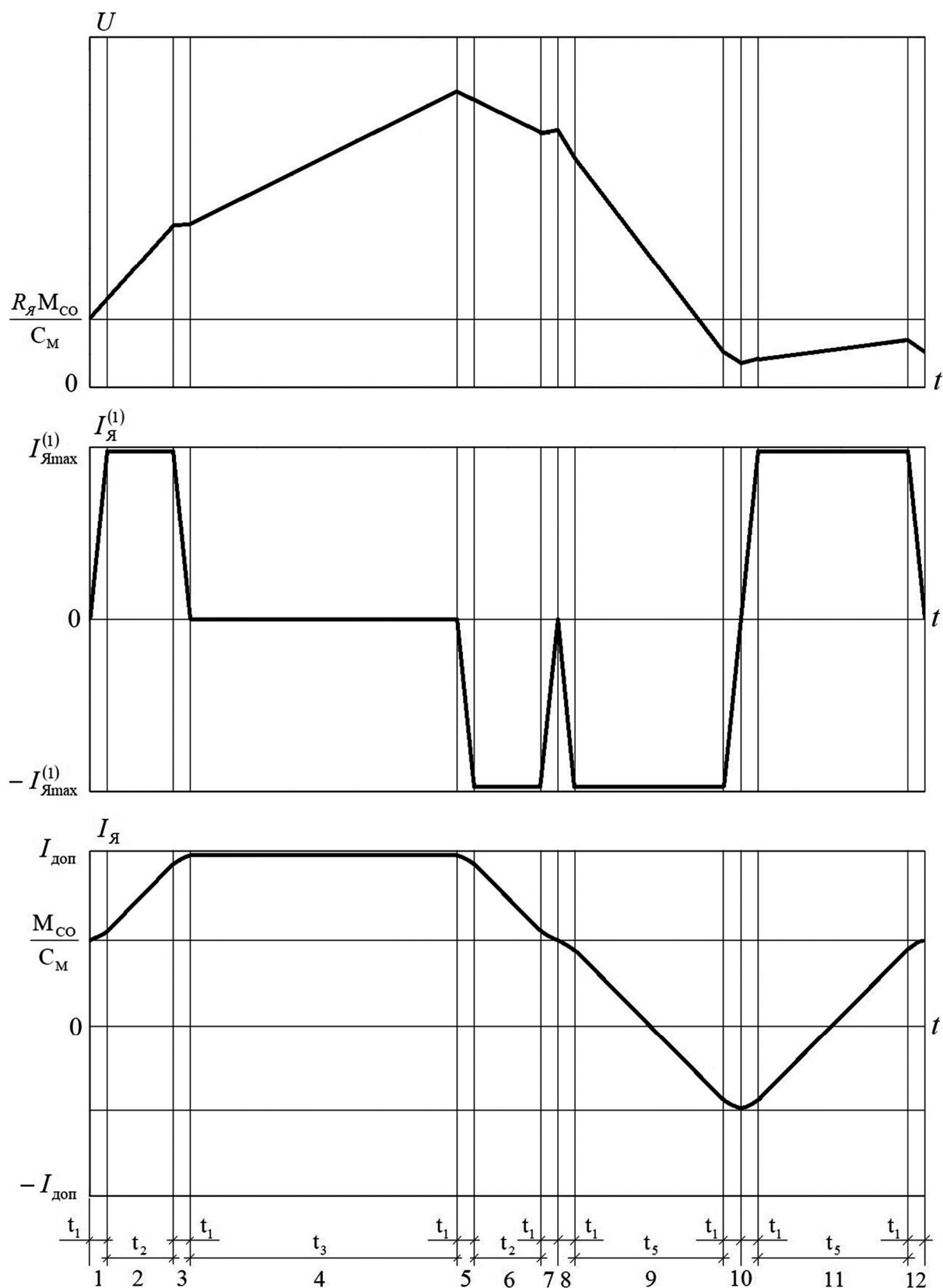


Рисунок 2 – Электрические координаты электропривода при обработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода

Определим показатели мощности, потребляемой прецизионным электроприводом с заданными параметрами при обработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений его исполнительного органа:

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

t, c	$\omega^{(1)}, \frac{\text{рад}}{c}$	$\omega, \frac{\text{рад}}{c}$	$\varphi, \text{рад}$	$I_{Я}, A$	$I_{Я}^{(1)}, A$	U, B	$P, \text{Вт}$
0	0	0	0	4	0	20	80
0,02	10	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{3000}$	4,4	40	$26\frac{1}{12}$	$114\frac{23}{30}$
0,10	90	$4\frac{1}{15}$	0,123	7,6	40	$47\frac{1}{12}$	$357\frac{5}{6}$
0,12	100	6	$\frac{67}{300}$	8	0	47,5	380
0,44	100	38	$7\frac{79}{300}$	8	0	87,5	700
0,46	90	$39\frac{14}{15}$	8,043	7,6	-40	$83\frac{11}{12}$	$637\frac{23}{30}$
0,54	10	$43\frac{14}{15}$	$11\frac{1321}{3000}$	4,4	-40	$72\frac{11}{12}$	$320\frac{5}{6}$
0,56	0	44	12,32	4	0	75	300
0,58	-10	$43\frac{14}{15}$	$13\frac{599}{3000}$	3,6	-40	$68\frac{11}{12}$	248,1
0,76	-190	$25\frac{14}{15}$	$19\frac{2921}{3000}$	-3,6	-40	$10\frac{5}{12}$	-37,5
0,78	-200	22	$20\frac{34}{75}$	-4	0	7,5	-30
0,80	-190	$18\frac{1}{15}$	$20\frac{2561}{3000}$	-3,6	40	$8\frac{7}{12}$	-30,9
0,98	-10	$\frac{1}{15}$	$21\frac{2999}{3000}$	3,6	40	$22\frac{1}{12}$	79,5
1,00	0	0	22	4	0	20	80

На основании проведенных расчетов для частного случая делаем вывод, что при отработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода в интервале времени от 0,76 до 0,8 с при уменьшении тока достигается наибольший запас мощности, при этом на этапах 9, 10, 11 прецизионный электропривод отдает мощность в сеть, на этапе 4 потребляет максимальную мощность из сети.

Таким образом, для реализации нормального процесса управления прецизионным электроприводом при отработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений его исполнительного органа требуется реверсивный преобразователь.

Список литературы:

1. Добробаба Ю.П., Кушнарченко А.П. Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 1. – С. 115–121.
2. Добробаба Ю.П., Кушнарченко А.П. Аналитические зависимости контролируемых координат прецизионного электропривода от времени при отработке оптимальной по быстродействию диаграммы с ограничениями // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 2. – С. 31–46.
3. Добробаба Ю.П., Кушнарченко А.П. Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 2. – С. 47–51.

УДК 621.352

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ДИАГРАММЕ ДЛЯ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИНТЕНСИВНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ ПРИ УПРУГОМ ВАЛОПРОВОДЕ

**Добробаба
Юрий Петрович**

Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры «Электроснабжение промышленных
предприятий»

**Прохоренко
Никита Ярославович**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант
classyadvets@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена разработке устройства для формирования сигнала, соответствующего диаграмме для больших перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с интенсивным торможением при упругом валопроводе. Представлена структурная схема устройства, содержащего блоки генераторов ступенчатого сигнала, интеграторы, и алгебраические сумматоры. Описан принцип работы устройства для формирования сигнала, соответствующего диаграмме для больших перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с интенсивным торможением при упругом валопроводе.

Ключевые слова: электропривод, большие перемещения, диаграмма перемещения, генератор ступенчатого сигнала, алгебраические сумматоры.

В работах [1–5] решается часть задач управления перемещением исполнительного органа электропривода с упругим валопроводом.

При решении задач управления перемещением исполнительного органа электропривода с упругим валопроводом, использована следующая математическая модель силовой части электропривода:

$$\begin{aligned}U(t) &= C_e \cdot \omega_1(t) + R_{я} \cdot I_{я}(t) + L_{я} \cdot I_{я}^{(1)}(t); \\C_m \cdot I_{я}(t) &= M_y + J_1 \cdot \omega_1^{(1)}(t); \\M_y &= C_y \cdot (\varphi_1(t) - \varphi_2(t)); \\M_y &= M_c + J_2 \cdot \omega_2^{(1)}(t); \\\varphi_1^{(1)}(t) &= \omega_1(t); \\\varphi_2^{(1)}(t) &= \omega_2(t); \\M_c &= \text{const.}\end{aligned}$$

где U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{я}$ – ток якорной цепи электродвигателя, А;

ω_1 – угловая скорость исполнительного органа электродвигателя, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

φ_1 – угол поворота исполнительного органа электродвигателя, рад;

M_{co} – постоянный по величине момент сопротивления, Н · м;

M_y – упругий момент сопротивления, Н · м;

ω_2 – угловая скорость исполнительного органа механизма, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

φ_2 – угол поворота исполнительного органа механизма, рад;

C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электродвигателя и ЭДС электродвигателя, $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$;

- $R_{я}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;
- $L_{я}$ – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн;
- C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, В · с;
- J_1 – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, кг · м²;
- J_2 – момент инерции исполнительного органа механизма, кг · м²;
- C_{ν} – жесткость валопровода, $\frac{Н \cdot м}{рад}$.

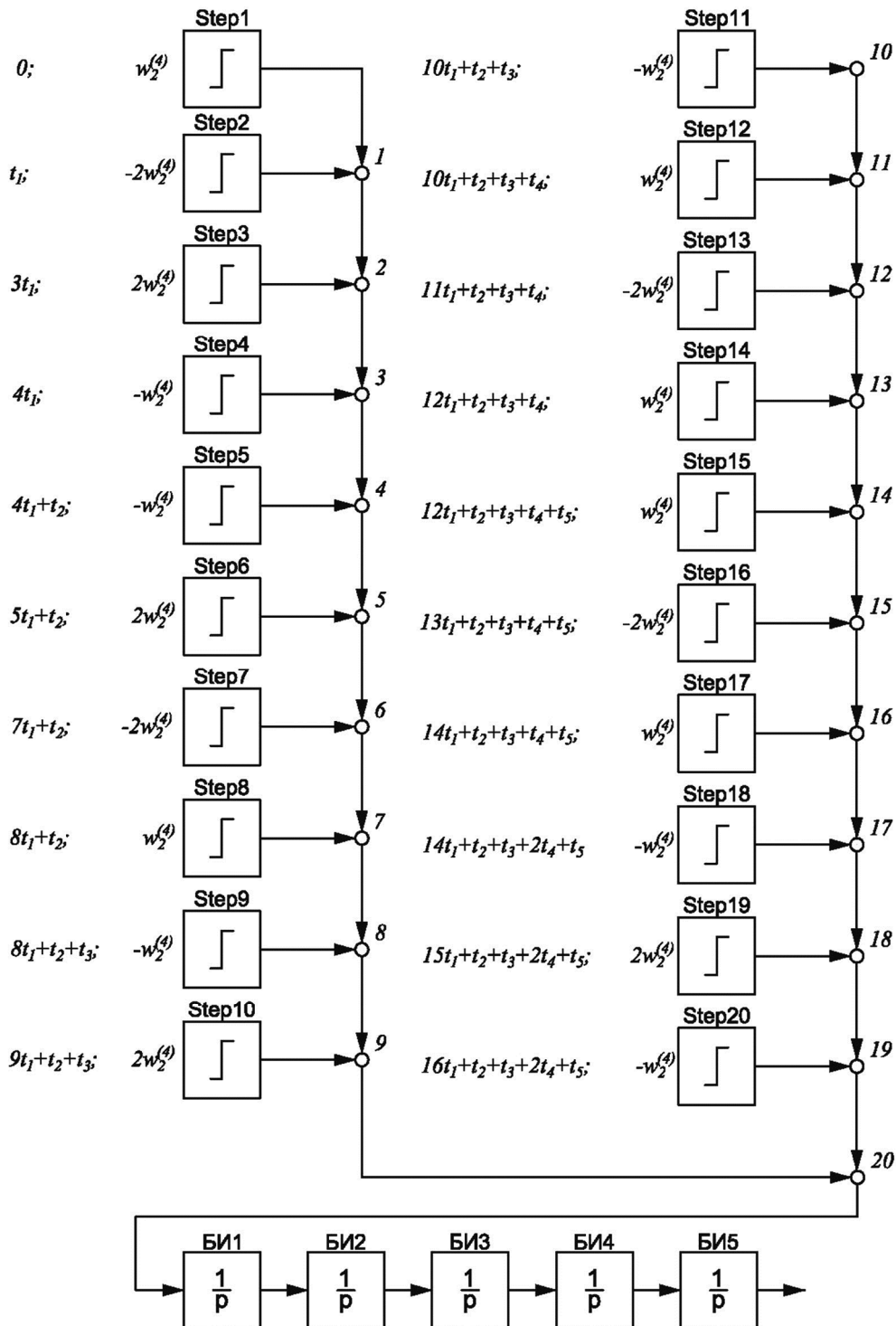


Рисунок 1 – Структурная схема устройства для формирования сигнала, соответствующего диаграмме для больших перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с интенсивным торможением при упругом валопроводе

На рисунке 1 представлена структурная схема устройства для формирования сигнала, соответствующего диаграмме для больших перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с интенсивным торможением при упругом валопроводе.

Перемещение исполнительного органа электропривода осуществляется за девятнадцать этапов, поэтому необходима реализация девятнадцати переключений угловой скорости исполнительного органа электропривода. Для этого используются двадцать блоков генераторов ступенчатого сигнала step1–step20 и двадцать блоков алгебраического суммирования. На выходе двадцатого блока алгебраического суммирования сигнал соответствует $\omega_2^{(4)}(t)$. На выходе первого блока интегрального БИ1 сигнал соответствует $\omega_2^{(3)}(t)$. На выходе второго блока интегрального БИ2 сигнал соответствует $\omega_2^{(2)}(t)$. На выходе третьего блока интегрального БИ3 сигнал соответствует $\omega_2^{(1)}(t)$. На выходе четвертого блока интегрального БИ4 сигнал соответствует $\omega_2(t)$. На выходе пятого блока интегрального БИ5 сигнал соответствует $\varphi_2(t)$.

Авторы разработали устройство, обеспечивающее формирование сигнала, соответствующего диаграмме для больших перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с интенсивным торможением при упругом валопроводе. Введены два дополнительных этапа одиннадцатый и семнадцатый для осуществления интенсивного торможения исполнительного органа электропривода.

Список литературы:

1. Добробаба Ю.П., Хорцев А.Л. Особо точный позиционный электропривод постоянного тока : монография. – Краснодар, 2014. – 104 с.
2. Добробаба Ю.П., Коноплин В.И. Микропозиционный программно-управляемый электропривод с упругим валопроводом : монография. – Краснодар, 2008. – 156 с.
3. Добробаба Ю.П., Литаш Б.С. Квазиоптимальный по быстродействию программно-управляемый позиционный электропривод : монография. – Краснодар, 2009. – 178 с.
4. Добробаба Ю.П., Кузьмина И.Б. Прецизионный позиционный электропривод переменного тока с упругим валопроводом : монография. – Краснодар, 2015. – 132 с.
5. Добробаба Ю.П., Кошкин Г.А., Прохоренко Н.Я. Разработка оптимальных по быстродействию диаграмм для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления : монография. – Краснодар, 2018. – 125 с.

УДК 621.31+62-83

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПУТИ ПРОХОЖДЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА
В ЗУБЦОВОЙ ЧАСТИ СТАТОРА КОМПОНЕНТА СПЕЦИАЛЬНОГО
УПРАВЛЯЕМОГО КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Карандей Владимир Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий
Афанасьев Виктор Леонидович	Кубанский государственный технологический университет старший преподаватель
Квочкин Владислав Владимирович	Кубанский государственный технологический университет аспирант
Карандей Юрий Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет аспирант
Смазнов Юрий Алексеевич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Шеремет Владимир Александрович	Кубанский государственный технологический университет магистрант

Аннотация. В статье приведен анализ изменения пути прохождения магнитного потока в зубцовой части статора компонента специального управляемого каскадного электрического привода цилиндрической конструкции.

Ключевые слова: специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, методы оптимизации, линейное программирование, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

Для различных отраслей промышленности необходимо разработать новые виды оборудования и механизмов [1, 2] с улучшенными характеристиками. Предъявляются требования к способности получения низких частот вращения вала или повышенной скорости вращения вала. Показатели достигаются применением редукторов, не позволяющие из-за конструктивных особенностей получить частоту вращения на выходе редуктора близкой к нулю или изменения направления вращения вала электрического привода.

Решают задачу применением частотного способа управления электроприводом, но остается проблема получения очень низких скоростей вращения, близких к нулю и постоянство момента при малой скорости вращения. Применение частотных преобразователей за счет генерирования высших гармоник в питающую сеть приводит к ухудшению качества питающего напряжения. Особые требования предъявляются к массогабаритным [3, 4] и энергетическим показателям систем электроприводов и их оптимизации [5, 6], как одной из основных составных частей таких устройств.

Применение специальных управляемых каскадных систем электрического привода цилиндрической конструкции позволит получить необходимые скоростные и моментные характеристики [7, 8] и улучшить массогабаритные и энергетические показа-

тели при реализации конструкционных особенностей и применяемой системы управления [9, 10]. Для проектирования новых систем необходимо разработать математические модели электромагнитной системы и рассчитать электромагнитные параметры [11, 12]. В Таблице 1 приведены значения ширина зубца статора, по которой проходит магнитный поток, при сдвиге ротора на угол поворота ротора компонента исследуемого электрического привода цилиндрической конструкции.

Таблица 1 – Ширина зубца статора, по которой проходит магнитный поток при сдвиге ротора на угол поворота

$b_{зс} \cdot 10^{-2}$ [М]	Угол поворота°								
	0	α	2α	3α	4α	5α	6α	7α	8α
1	4,136	4,136	4,136	4,136	4,136	4,136	2,0593	4,136	3,8342
2	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719	7,0564	6,205
3	6,2046	4,9652	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719
4	6,2046	7,5226	6,2112	7,0366	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719	8,2719
5	6,8928	6,5588	6,2046	8,0234	6,2041	6,1617	8,2719	8,2719	8,2719
6	7,8566	6,2046	6,2046	8,2719	6,2046	6,2046	7,5226	6,1945	7,0596
7	8,2719	6,2046	6,2046	7,6894	6,2046	6,8928	6,5588	6,2046	8,0234
8	7,8562	6,2046	6,726	6,7256	6,2046	7,8566	6,2046	6,2046	8,2719
9	6,8924	6,2046	7,6898	6,2046	6,2046	8,2719	6,2299	6,2046	7,6894
10	6,2046	6,2046	8,2719	6,2046	6,2046	7,8562	6,2046	6,726	7,6256
11	6,205	6,1891	8,023	6,2046	6,5592	6,8936	6,2046	7,6898	6,2046
12	8,2719	8,2719	7,0679	6,2019	7,523	6,2046	6,2046	8,272	6,2046
13	4,136	4,136	4,136	4,136	4,136	2,0664	4,136	3,887	2,3704

Список литературы:

1. Козярук А.Е.. Современные эффективные электроприводы производственных и транспортных механизмов // Электротехника. – 2019. – № 3. – С. 33–37.
2. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.
3. Лот Н.С., Осипов О.И., Жидков А.М. Перспективы развития электроприводов шахтных подъёмных установок // Приводы и компоненты машин. – 2016. – № 6 (22). – С. 9–12.
4. Климаш В.С., Соколовский М.А. Повышение эффективности комплекса электроприводов технологического оборудования горноперерабатывающего предприятия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 575–581.
5. Власьевский С.В., Малышева О.А., Мельниченко О.В. Сравнение расчетных сил тяги по сцеплению электровозов переменного тока с асинхронным и коллекторным приводом // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2018. – № 5. – С. 30–36,
6. Сериков А.В., Суздорф В.И. Моделирование электромагнитных процессов в коллекторных электродвигателях с питанием от статических преобразователей // Электротехника. – 2016. – № 12. – С. 39–44.
7. Теоретические основы математического моделирования процессов преобразования мощности в совмещенных энергетических устройствах / С.Н. Иванов [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – Т. 1. – № 1 (41). – С. 37–44.
8. Системы управления тяговым приводом современных локомотивов / А.Т. Бурков [и др.] // Электротехника. – 2019. – № 10. – С. 33–36.

9. Нечеткое управление в системе регулирования позиционных электроприводов стержневой установки / В.А. Соловьев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 5. – С. 77–80.

10. Ахметгаряев Р.Т., Андреев Н.К. Прямое управление моментом в электроприводе скважинных штанговых насосных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2011. – № 9–10. – С. 100–104.

11. Корнилов В.Ю., Цветков А.Н., Мухаметшин А.И. Исследование процесса электромагнитного преобразования энергии в асинхронном двигателе с комбинированной двухслойной обмоткой // Нелинейный мир. – 2017. – № 6. – С. 33–39.

12. Методика определения параметров асинхронного двигателя / Ю.М. Кулинич [и др.] // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 30–36.

УДК 621.31+62-83

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПУТИ ПРОХОЖДЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА
В ЗУБЦОВОЙ ЧАСТИ СТАТОРА КОМПОНЕНТА СПЕЦИАЛЬНОГО
УПРАВЛЯЕМОГО КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА
АКСИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Карандей Владимир Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий
Афанасьев Виктор Леонидович	Кубанский государственный технологический университет старший преподаватель
Квочкин Владислав Владимирович	Кубанский государственный технологический университет аспирант
Карандей Юрий Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет аспирант
Смазнов Юрий Алексеевич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Шеремет Владимир Александрович	Кубанский государственный технологический университет магистрант

Аннотация. В статье приведен анализ изменения пути прохождения магнитного потока в зубцовой части статора компонента специального управляемого каскадного электрического привода аксиальной конструкции.

Ключевые слова: специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, методы оптимизации, линейное программирование, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

Различные отрасли промышленности испытывают необходимость в разработке новых видов оборудования [1, 2] и механизмов [3] с улучшенными характеристиками [4, 5]. Дополнительные требования предъявляются к массогабаритным и энергетическим показателям составных частей технологического оборудования – системам электрического привода.

Одной из основных трудностей при создании новых видов технологического оборудования является математическое моделирование [6, 7], проектирование и точное определение параметров [8, 9] и поиск пути оптимизации специальных систем.

Разработанные электрические приводы обладают улучшенными габаритными и энергетическими показателями. Применение специальных управляемых каскадных систем электрического привода аксиальной конструкции позволяют достигать улучшения массогабаритных и энергетических показателей при реализации предложенных конструктивных особенностей и системы управления. Применение управляемых каскадных систем электрического привода аксиальной конструкции позволит реализовать скоростные и моментные характеристики и энергетические показатели.

Важным при создании различных механизмов и систем управления [10, 11] является создание математической модели, проектирование и разработка специальных

электрических приводов и их компонентов. Были получены параметры, позволяющие произвести расчёт магнитного потока. Предложенный подход позволит определять параметры для создания различных механизмов и систем управления [12]. В Таблице 1 приведены значения площади зубцовой части статора, по которой проходит магнитный поток, при сдвиге ротора на угол поворота электрического привода аксиальной конструкции.

Таблица 1 – Площадь зубцовой части статора, по которой проходит магнитный поток при сдвиге ротора на угол поворота

S _{зс} , [м ²]	Угол поворота°								
	0	α	2α	3α	4α	5α	6α	7α	8α
1	0,0621	0,0621	0,0621	0,0621	0,0621	0,0621	0,0310	0,0621	0,0572
2	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1061	0,0930
3	0,0930	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242
4	0,0930	0,1131	0,0930	0,1062	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242
5	0,1036	0,0986	0,0930	0,1511	0,0930	0,0930	0,1242	0,1242	0,1242
6	0,1181	0,0930	0,0930	0,1242	0,0930	0,0930	0,1131	0,0930	0,1061
7	0,1242	0,0930	0,0930	0,1156	0,0930	0,1036	0,0986	0,0930	0,1206
8	0,1181	0,0930	0,1011	0,1011	0,0930	0,1181	0,0930	0,0930	0,1242
9	0,1036	0,0930	0,1197	0,0929	0,0930	0,1242	0,0930	0,0930	0,1156
10	0,0891	0,0930	0,1242	0,0930	0,0930	0,1181	0,0930	0,1011	0,1011
11	0,0930	0,0930	0,1206	0,0930	0,0986	0,1036	0,0930	0,1156	0,0930
12	0,1242	0,1242	0,1061	0,0930	0,1131	0,0930	0,0930	0,1242	0,0930
13	0,0621	0,0621	0,0621	0,0621	0,0621	0,0310	0,0621	0,0585	0,0355

Список литературы:

1. Лот Н.С., Осипов О.И., Жидков А.М. Перспективы развития электроприводов шахтных подъёмных установок // Приводы и компоненты машин. – 2016. – № 6 (22). – С. 9–12.
2. А.Е. Козярук, Современные эффективные электроприводы производственных и транспортных механизмов // Электротехника. – 2019. – № 3. – С. 33–37.
3. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.
4. Климаш В.С., Соколовский М.А. Повышение эффективности комплекса электроприводов технологического оборудования горноперерабатывающего предприятия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 575–581.
5. Методика определения параметров асинхронного двигателя / Ю.М. Кулинич [и др.] // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 30–36.
6. Сериков А.В., Суздорф В.И. Моделирование электромагнитных процессов в коллекторных электродвигателях с питанием от статических преобразователей // Электротехника. – 2016. – № 12. – С. 39–44.
7. Теоретические основы математического моделирования процессов преобразования мощности в совмещенных энергетических устройствах / С.Н. Иванов [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – Т. 1. – № 1 (41). – С. 37–44.
8. Власьевский С.В., Малышева О.А., Мельниченко О.В. Сравнение расчетных сил тяги по сцеплению электровозов переменного тока с асинхронным и коллекторным приводом // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2018. – № 5. – С. 30–36.

9. Корнилов В.Ю., Цветков А.Н., Мухаметшин А.И. Исследование процесса электромагнитного преобразования энергии в асинхронном двигателе с комбинированной двухслойной обмоткой // Нелинейный мир. – 2017. – № 6. – С. 33–39.
10. Системы управления тяговым приводом современных локомотивов / А.Т. Бурков [и др.] // Электротехника. – 2019. – № 10. – С. 33–36.
11. Нечеткое управление в системе регулирования позиционных электроприводов стержневой установки / В.А. Соловьев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 5. – С. 77–80.
12. Ахметгаряев Р.Т., Андреев Н.К. Прямое управление моментом в электроприводе скважинных штанговых насосных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2011. – № 9–10. – С. 100–104.

УДК 621.314.58

**СУММИРУЮЩИЕ ТОПЛИВОМЕРЫ-РАСХОДОМЕРЫ
ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ, ПЕРСПЕКТИВЫ****Кашин
Яков Михайлович****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой электротехники и электрических машин
**Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
профессор кафедры авиационного радиоэлектронного
оборудования
jlms@mail.ru**Варёнов
Александр Борисович****Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
преподаватель кафедры авиационного радиоэлектронного
оборудования
kupol@inbox.ru**Войнов
Александр
Владимирович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
trapasha@mail.ru**Батышев
Айтеч Индарович****Кубанский государственный технологический университет**
студент кафедры электротехники и электрических машин
aitechbatyshev@gmail.com**Аннотация.** В статье дан обзор суммирующих топливомеров-расходомеров.**Ключевые слова:** топливо, датчик, воздушный зазор.

Гибридные энергетические комплексы (ГЭК) – это техническая система, объединяющая в рамках единого технологического процесса генераторы электрической, тепловой и других видов энергии различных типов, аккумуляторы энергии, средства коммутации и передачи энергии, а также активных потребителей [1].

Для получения тепловой и электрической энергии в ГЭК используются преобразователи, которые преобразуют химическую энергию топлива в тепловую (котельные установки (КТ)) или электрическую энергию (дизельные электростанции (ДЭС)).

Для подачи топлива из топливного бака к топливной рейке (моноблок дроссельных заслонок) используются трубопроводы, а для измерения расхода топлива используются топливомеры-расходомеры, которые подразделяются на топливомеры суммарного расхода топлива и топливомеры-расходомеры мгновенного расхода топлива. Топливомеры мгновенного расхода топлива используются для измерения расхода топлива в единицу времени. Топливомеры-расходомеры суммарного расхода топлива (суммирующие топливомеры-расходомеры) используются для измерения суммарного количества топлива за единицу времени [2–5].

Принцип измерения мгновенного расхода топлива основан на определении скорости потока, которая при заданном сечении трубопровода и плотности топлива пропорциональна мгновенному расходу. Измерение скорости потока производится с помощью крыльчатки, расположенной в топливной магистрали.

Измерение суммарного расхода топлива основано на подсчёте суммы последовательных электрических импульсов, частота которых пропорциональна частоте вращения крыльчатки. Одна из наиболее распространённых систем измерения расхода

топлива типа *СИРТ* предназначена для измерения мгновенного (часового) расхода топлива каждым двигателем и запаса топлива во всей топливной системе.

В состав системы входят датчики расхода ДРТМС, датчик плотности ДП, преобразователь сигналов *ПС*, указатели расхода *УМРТ* и указатель суммарного запаса топлива *УСЗТ*.

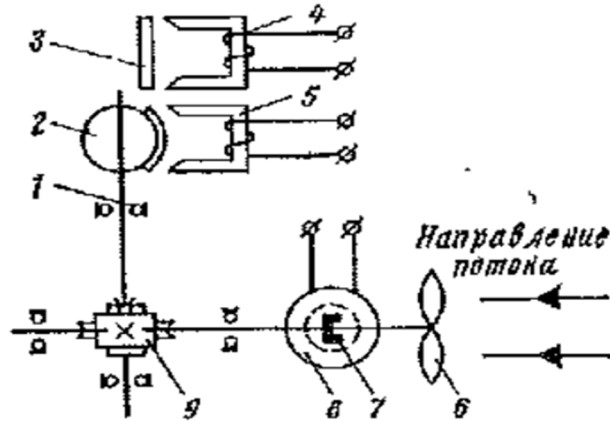


Рисунок 1 – Кинематическая схема расходомера

Работа канала измерения мгновенного расхода топлива, обслуживающего один двигатель. Топливо, протекая через датчик расхода, приводит во вращение крыльчатку *б*, частота вращения которой пропорциональна скорости потока топлива. На оси крыльчатки крепится ротор в виде постоянного шестипольного магнита *7*. При вращении крыльчатки магнитное поле магнита индуцирует ЭДС переменной частоты в катушках, находящихся в корпусе статора *8*. ЭДС переменной частоты поступает на вход преобразователя частоты в напряжение *ПНЧ*, где усиливается и преобразуется в постоянное напряжение, пропорциональное частоте вращения крыльчатки, а следовательно, мгновенному расходу в объёмных единицах. Чтобы расход топлива, выраженный в объёмных единицах, преобразовать в расход топлива, выраженный в массовых единицах, необходима поправка на плотность топлива

$$Q_T = \rho V_T,$$

где Q_T – массовый расход топлива, кг/ч; ρ – плотность топлива, кг/см³; V_T – объёмный расход, см³/ч.

Суммарная приведённая погрешность по мгновенному расходу и суммарному запасу топлива составляет $\pm 4\%$. Наиболее частые дефекты возникают из-за засорённости или износа подшипников крыльчатки датчика расхода.

Известен суммирующий расходомер [6], содержащий крыльчатку, устанавливаемую в топливопроводе, редуктор, червячную передачу, магнитную муфту, стальной сердечник, мостовую схему, три плеча которой образованы катушкой постоянной индуктивности, а четвёртое плечо – катушкой переменной индуктивности, тиристорный преобразователь, шаговый электромагнит, и указатель со шкалой и стрелкой.

Недостатком такого расходомера является сужение поперечного сечения топливопровода, замедляющее скорость подачи топлива по топливопроводу, вызванное установкой внутри топливопровода топливной магистрали крыльчатки и червячной передачи.

Широко распространён суммирующий расходомер [7], содержащий указатель, со шкалой и стрелкой, кремальеру, датчик мгновенного расхода топлива, редуктор, храповик, индуктивный датчик, выполненный на мостовой схеме, первое и второе плечи которой образованы обмотками трансформатора, третье плечо образовано катушкой постоянной индуктивности, а четвёртое плечо – катушкой переменной индуктивности, и преобразователь импульсов, содержащий мостовой выпрямитель, подключен-

ный к выходу мостовой схемы индуктивного датчика, и усилитель импульсов, вход которого подключен к выходу мостового выпрямителя, а выход – к обмотке управления шаговым электромагнитом, якорь которого связан с собачкой храповика, вал храповой шестерни которого сочленен с входным валом редуктора, на выходном валу которого установлена стрелка указателя, при этом датчик мгновенного расхода топлива содержит крыльчатку, червячную передачу и стальной сердечник.

Недостатком такого расходомера также является сужение поперечного сечения топливопровода, замедляющее скорость подачи топлива, вызванное установкой внутри топливопровода топливной магистрали крыльчатки и червячной передачи. В связи с этим возникают непроизводительные потери энергии, затрачиваемой на прокачку топлива по топливопроводу.

В связи с этим усовершенствование суммирующих топливомеров-расходомеров для гибридных энергетических комплексов, позволяющее улучшить его эксплуатационно-технические характеристики, является актуальной научной и инженерной задачей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230009 р_а.

Список литературы:

1. Гибридная энергетическая система [Электронный ресурс]. – URL : https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.9cff0e6d-634ef528-8870d84d74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_renewable_energy_system
2. Приборы и системы для измерения количества и расхода топлива [Электронный ресурс]. – URL : <http://aviair.ru/pkrsu/id/26>
3. Назначение, классификация и принцип действия приборов для измерения расхода и количества топлива [Электронный ресурс]. – URL : https://studopedia.su/14_177749_tipi-konstruktsiya-i-rabota-aviatsionnih-rashodomerov.html
4. Топливомеры и измерение расхода топлива [Электронный ресурс]. – URL : <https://topuch.com/ukazatele-shaga-vinta-ushv-1k-77/index12.htm>
5. Измерение расхода топлива [Электронный ресурс]. – URL : https://studopedia.su/12_182_summiruyushchie-rashodomeri-topliva.html
6. Авиационные приборы и пилотажно-навигационные комплексы. Часть 2. Элементы авиационных приборов и систем / Я.М. Кашин [и др.]. – Краснодар : Краснодарское ВВАУЛ, 2020. – С. 83–84.
7. Авиационные приборы. Учебник / Под общ. ред. С.С. Дорофеева. – М. : Военное издательство, 1992. – С. 232–234.

УДК 621.315.2

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАССЫ КАБЕЛЯ
И КОРРЕКТИРОВКА ПОЛОЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ
ПРИ ЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИИ ВДОЛЬ ТРАССЫ КАБЕЛЯ****Кашин
Яков Михайлович****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой электротехники и электрических машин
**Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
профессор кафедры авиационного радиоэлектронного
оборудования
jlms@mail.ru**Попов
Андрей Юрьевич****Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры
авиационного и радиоэлектронного оборудования
aendryPo@mail.ru**Шаршак
Алексей
Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
ассистент кафедры электротехники и электрических машин
vip.sharshak@mail.ru**Кузнецов
Дмитрий Николаевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
market.desire.s@gmail.com

Аннотация. В статье представлено описание принципа определения трассы кабеля.
Ключевые слова: кабели, место повреждения, автономное устройство для определе-
ния места повреждения кабеля.

Основным этапом поиска мест повреждений в подземных кабельных линиях электропередачи является точное определение трассы кабеля.

Определяют трассу залегания кабеля при подключении одного вывода генератора к одной из жил кабеля, заземленной на другом конце и заземлении другого вывода генератора. При этом оболочка должна быть разземлена с обоих концов. При большом количестве кабелей в траншее применяют частоту 480–1450 Гц, а на открытой местности частоту 8000–9500 Гц [1].

Определение трассы кабеля осуществляется как по минимуму, так и по максимуму сигнала. При определении трассы по минимуму сигнала антенну располагают вертикально, силовые линии магнитного поля точно над кабелем не пересекают витки антенны и ЭДС в ней не наводится. Отклонение антенны в сторону приводит к появлению в ней сигнала, который резко увеличивается, а затем медленно спадает (рис. 1).

Узкая зона минимума сигнала и дает точное местоположение трассы. Передвигаясь по трассе, оператор держит антенну таким образом над осью кабеля, чтобы в телефонах постоянно прослушивался минимум сигнала, а небольшие смещения антенны в сторону от трассы вызывают увеличение сигнала и как бы направляют оператора по узкому коридору вдоль оси кабеля.

При определении трассы по максимуму сигнала ось антенны располагают горизонтально земле и перпендикулярно оси кабеля. В ней при нахождении точно над кабелем будет наводиться максимальная ЭДС, так как витки антенны будут пересекаться

максимальным магнитным потоком (рис. 2). Смещение антенны в сторону от оси кабеля вызывает уменьшение ЭДС и, следовательно, сигнала в телефонах.

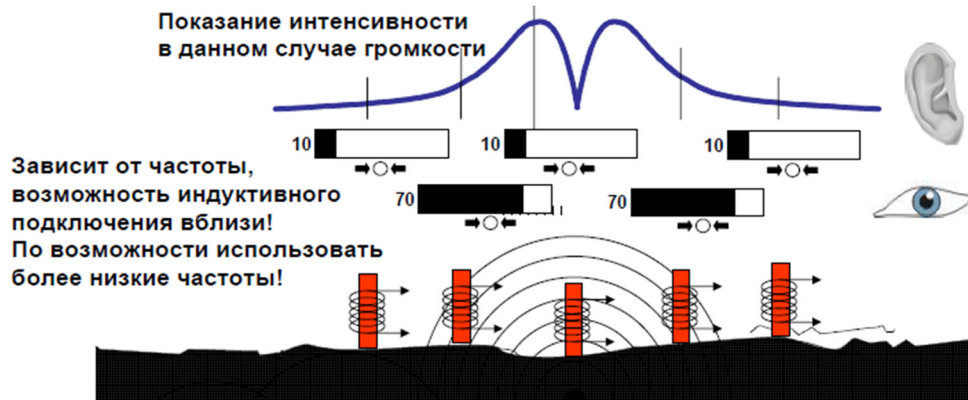


Рисунок 1 – Пример определения трассы кабеля по минимуму сигнала в наушниках или на экране индикатора

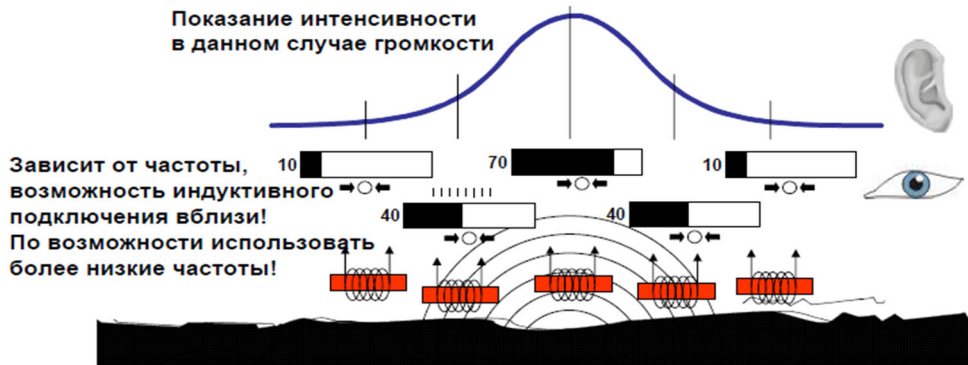


Рисунок 2 – Пример определения трассы кабеля по максимуму сигнала в наушниках или на экране индикатора

При перемещении антенны вдоль трассы кабеля будет уменьшаться в местах загиблений кабеля или в местах его прокладки в трубах и увеличиваться после прохождения этих участков. Рекомендуется при определении трассы антенну располагать вертикально, но, передвигаясь вдоль трассы, периодически перемещать антенну поперек трассы кабеля и менять ее положение относительно плоскости земли для контроля правильности определения трассы [4].

Определение трассы кабеля производится при помощи генераторов типа FLS 2-90, FLS 8-3-Q, FLS 35-3 и др., приемников звуковой частоты FLE 90-Q и MFE-90, поисковой катушки (антенны) FL 45-1.

Указанные принципы используются для корректировки положения автономного устройства определения места повреждения кабеля [2-3] (рис. 5) при его перемещении вдоль трассы кабеля.

Предварительно определяются исправные и неисправные жилы поврежденного кабеля 2, затем все жилы поврежденного кабеля 2 отсоединяются от шин распределительного устройства на подстанции, к неисправным жилам 6 поврежденного кабеля 2 подключается импульсный измеритель 7 и определяется зона повреждения кабеля 2 на трассе, а исправная жила 3 подсоединяется к заземленной оболочке 4 и к генератору звуковой частоты (ГЗЧ) 5, генерирующему импульсы напряжения положительной полярности (рис. 3).

В результате этого от генератора звуковой частоты 5 по исправной жиле 3 поврежденного кабеля 2 протекает импульсный ток положительной полярности, который возвращается к генератору звуковой частоты 5 через оболочку 4 поврежденного кабеля 2, частично растекаясь в земле через многочисленные контакты оболочки 4 поврежденного кабеля 2 с землей, образуя одиночный ток исправной жилы 3. Одновременно

одиночный ток исправной жилы 3 поврежденного кабеля 2 создает вокруг нее магнитное поле (рис. 4), силовые линии которого пересекают витки рамочной антенны 1 (рис. 4, поз. 1б и 1в). Вследствие этого в витках рамочной антенны 1 наводится ЭДС, величина и полярность которой зависят от направления отклонения и расстояния от рамочной антенны 1 до оси поврежденного кабеля 2. При этом при перемещении рамочной антенны 1 влево фаза ЭДС отрицательна (рис. 4, поз.1б, кривая 1), а при перемещении вправо – положительна (фиг. 4, поз. 1в, кривая 2).

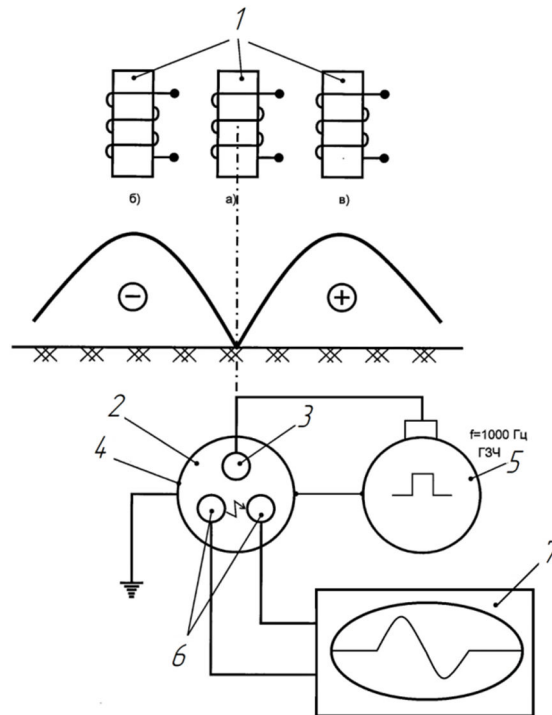


Рисунок 3 – Распределение ЭДС и изменение фазы сигнала в рамке рамочной антенны

Если предлагаемое автономное устройство перемещается вдоль оси поврежденного кабеля 2 (рамочная антенна 1 находится точно над осью поврежденного кабеля 2 (рис. 3, поз. 1а, рис. 4, поз.1а), то силовые линии магнитного поля, созданного одиночным током, протекающим в исправной жиле 3 поврежденного кабеля 2, скользят вдоль плоскости витков рамочной антенны 1, наводя в ней минимальную (практически равную нулю) ЭДС, поэтому напряжение на выходе рамочной антенны 1, находящейся точно над осью поврежденного кабеля 2 (рис. 3, 4 поз. 1а), равно нулю.

Если предлагаемое автономное устройство отклоняется от оси поврежденного кабеля 2 вправо (рис. 3 поз. 1в, рис. 4 поз. 1в) или влево (рис. 3 поз. 1б, рис. 4 поз. 1б), то ЭДС, наводимая в рамочной антенне 1, увеличивается, так как силовые линии магнитного поля пересекают плоскость витков рамочной антенны 1 под постепенно увеличивающимся углом в зависимости от расстояния от предлагаемого автономного устройства и, следовательно, рамочной антенны 1, до оси поврежденного кабеля 2. Увеличение ЭДС будет происходить до определенного значения, а затем значение ЭДС уменьшается, так как воздействие магнитного поля ослабевает пропорционально квадрату расстояния от рамочной антенны 1 до оси поврежденного кабеля 2.

При отклонении предлагаемого автономного устройства с рамочной антенной 1 вправо по ходу движения в рамочной антенне 1 будет наводиться ЭДС положительной полярности (рис. 4, кривая 2), а при отклонении влево – отрицательной полярности (рис. 4, кривая 1).

Выходное напряжение рамочной антенны 1 соответствующей полярности подается на первый вход сравнивающего блока 9, с выхода которого напряжение через элемент выдержки времени 10 поступает на управляющую обмотку электродвигателя системы рулевого управления 8 автономным устройством для определения места повреждения кабеля, корректируя положение устройства вдоль трассы кабеля (рис. 5)

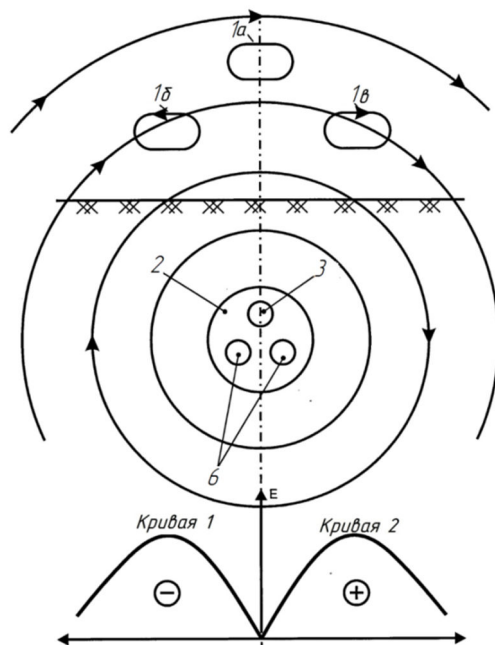


Рисунок 4 – График изменения ЭДС, наводимой в рамочной антенне (1а – рамочная антенна находится на оси трассы поврежденного кабеля, 1б – слева от нее, 1в – справа от нее)



Рисунок 5 – Внешний вид автономного устройства для определения места повреждения кабеля и расположение некоторых его узлов

Применение системы корректировки положения автономного устройства для определения места повреждения кабеля, а также точное определение трассы кабеля по описанным принципам позволяют существенно сократить время, необходимое на локализацию и устранение повреждения.

Список литературы:

1. Кириллов Г.А. Теория и практика поиска отказов в кабельных линиях электропередачи : монография. – Краснодар : КВВАУЛ, 2006.
2. Пат. 2698939 RU. 04.12.2018. Устройство для определения места повреждения кабеля / Я.М. Кашин, Г.А. Кириллов, А.А. Шаршак // Оpubл. 02.09.2019.
3. Пат. 2730384 RU. 29.10.2019. Автономное устройство для определения места повреждения кабеля / Я.М. Кашин, Г.А. Кириллов, А.Е. Селин // Оpubл. 21.08.2020.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е издание. – СПб. : Издательство ДЕАН, 2003.

УДК 621.313

**УТОЧНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ СТАТИЧЕСКОГО МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ
И ДИНАМИЧЕСКОГО МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ****Кашин
Яков Михайлович****Кубанский государственный технологический университет**
заведующий кафедры электротехники и электрических машин
jlms@mail.ru**Колбасин
Сергей Игоревич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
kolbasinserega@yandex.ru**Мараховский
Евгений
Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
zheka3334@mail.ru**Голованов
Александр
Александрович****Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
заместитель начальника цикла эксплуатации авиационной тех-
ники
golovavia@mail.ru

Аннотация. В статье проводится уточнение значений статического момента сопротивления и динамического момента двигателя с короткозамкнутым ротором в составе электропривода с передаточным и исполнительным механизмами. С учетом ряда допущений составлены уравнения, более точно определяющие статический момент сопротивления и динамический момент двигателя.

Ключевые слова: двигатель с короткозамкнутым ротором, статический момент сопротивления, динамический момент, электромагнитный момент, масса, момент инерции, исполнительный механизм.

На кафедре электротехники и электрических машин в рамках работы по расчету электрических нагрузок моторного цеха автотранспортного предприятия была поставлена задача по уточнению параметров асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, позволяющих определить и оценить энергоэффективность двигателя. В моторном цехе на базе данного двигателя строятся электроприводы различного электрооборудования, например, сепараторов, насосов или станков, поэтому целесообразно оптимизировать его показатели энергоэффективности [1–3].

По результатам комплексного исследования двигателя с короткозамкнутым ротором было выявлено, что для решения поставленной задачи необходимо уточнить значения его электромагнитного, статического и динамического моментов [2–4].

Уравнение 1 представляет собой уравнение моментов – уравнение движения:

$$M_{EM}(t) = M_{SR}(t) + M_{DR}(t), \quad (1)$$

где $M_{EM}(t)$ – электромагнитный момент двигателя; $M_{SR}(t)$ – статический момент сопротивления установки; $M_{DR}(t)$ – динамический момент установки.

В свою очередь все моменты, составляющие уравнение 1, определяются по зависимостям, приведенным в выражениях 2. Электромагнитный момент двигателя с короткозамкнутым ротором зависит от токов ротора и статора, момент статического сопротивления и динамический момент зависят от геометрических параметров, масс и моментов инерции отдельных частей электропривода.

$$M_{EM}(t) = \frac{p\sqrt{3}}{2} M \times \\ \times ([i_{s1}(t) \cdot i_{r3}(t) + i_{s2}(t) \cdot i_{r1}(t) + i_{s3}(t) \cdot i_{r2}(t)] - \\ - \{i_{s1}(t) \cdot i_{r2}(t) + i_{s2}(t) \cdot i_{r3}(t) + i_{s3}(t) \cdot i_{r1}(t)\}); \quad (2)$$

$$M_{SR}(t) = k_{\pi} \cdot f_{fr} \cdot g \cdot \frac{d_d}{2} \cdot \frac{m_a + m_d + m(t)}{\eta};$$

$$M_{DR}(t) = [J_a + J_d + J_l(t)] \frac{d \omega_r(t)}{dt},$$

где k_{π} – коэффициент, учитывающий технологические и монтажные погрешности; f_{fr} – коэффициент трения подшипниковой опоры; g – ускорение свободного падения; m_a – масса передаточного механизма; m_d – масса исполнительного механизма; $m(t)$ – изменяющаяся во времени масса (например, масса жидкости в насосе или сепараторе); d_d – диаметр исполнительного механизма; η – механический КПД двигателя; J_a – момент инерции передаточного механизма; J_d – момент инерции исполнительного механизма; $J_l(t)$ – изменяющийся во времени момент инерции.

При уточнении выражений динамического момента и статического момента сопротивления было составлено математическое описание двигателя с короткозамкнутым ротором и выполнен вывод формул для определения масс и моментов инерции с учетом следующих допущений:

- исполнительный механизм и его технологические полости можно представить в виде сплошных однородных объемных фигур (сплошных однородных цилиндров и сплошных однородных конусов, а также результатов их сложения и вычитания);
- часть нагрузки, учитываемая изменяющимися во времени массой и моментом инерции, является частью исполнительного механизма и распределена однородно по всему объему его технологических полостей;
- изменяющиеся во времени масса и момент инерции могут быть описаны некоторой функцией в зависимости от времени.

С учетом изложенных выше допущений и формул масс сплошных объемных фигур статический момент сопротивления из математического описания (2) двигателя с короткозамкнутым ротором определяется в сокращенном виде выражением 3 [4].

$$M_{SR}(t) = k_{\pi} \cdot f_{fr} \cdot g \cdot \frac{d_d}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1}{\eta_{дв.мех}} \times \\ \times \left\{ \begin{aligned} & \sum_{i=1}^k \left(\frac{d_{cyl.b.i}}{2} \right)^2 \cdot h_{cyl.b.i} \cdot \rho_{ст} + \\ & + \sum_{i=1}^l \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{d_{con.b.i}}{2} \right)^3 \cdot tg \alpha_{con.b.i} \cdot \rho_{ст} + \\ & + \sum_{i=1}^m \left(\frac{d_{cyl.l.i}}{2} \right)^2 \cdot h_{cyl.l.i} \cdot \rho_l(t) + \\ & + \sum_{i=1}^n \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{d_{con.l.i}}{2} \right)^3 \cdot tg \alpha_{con.l.i} \cdot \rho_l(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $d_{cyl.b.i}$ – диаметр основания сплошного цилиндрического элемента корпуса или технологической части исполнительного механизма; $h_{cyl.b.i}$ – высота сплошного цилиндрического элемента корпуса или технологической части исполнительного механизма; $d_{con.b.i}$ – диаметр сплошного конического элемента корпуса или тех-

нологической части исполнительного механизма; $\alpha_{con.b.i}$ – угол между основанием и образующей сплошного конического элемента корпуса или технологической части исполнительного механизма; $\rho_{ст}$ – плотность материала сплошного элемента корпуса или технологической части исполнительного механизма; $d_{cyl.l.i}$ – диаметр основания сплошного цилиндрического элемента технологической полости исполнительного механизма; $h_{cyl.l.i}$ – высота сплошного цилиндрического элемента технологической полости исполнительного механизма; $d_{con.l.i}$ – диаметр сплошного конического элемента технологической полости исполнительного механизма; $\alpha_{con.l.i}$ – угол между основанием и образующей сплошного конического элемента технологической полости исполнительного механизма; $\rho_l(t)$ – плотность изменяющейся во времени части нагрузки исполнительного механизма.

С учетом изложенных выше допущений и формул масс и моментов инерции сплошных объемных фигур динамический момент из математического описания (2) двигателя с короткозамкнутым ротором определяется в сокращенном виде выражением 4 [4, 5].

$$M_{DR}(t) = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^k \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{cyl.b.i}}{2}\right)^4 \cdot h_{cyl.b.i} \cdot \rho_{ст} + \\ + \sum_{i=1}^l \frac{1}{10} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{con.b.i}}{2}\right)^5 \cdot tg \alpha_{con.b.i} \cdot \rho_{ст} + \\ + \sum_{i=1}^m \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{cyl.l.i}}{2}\right)^4 \cdot h_{cyl.l.i} \cdot \rho_l(t) + \\ + \sum_{i=1}^n \frac{1}{10} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{con.l.i}}{2}\right)^5 \cdot tg \alpha_{con.l.i} \cdot \rho_l(t) \end{array} \right\} \frac{d\omega_r(t)}{dt}. \quad (4)$$

По результатам проведенной работы по уточнению значений статического момента сопротивления и динамического момента двигателя с короткозамкнутым ротором можно сделать вывод, что в дальнейшем представляется целесообразным проведение вычислительного эксперимента с целью получения рабочих и регулировочных характеристик двигателя с короткозамкнутым ротором.

Список литературы:

1. Сепаратор для переработки нефти совмещенной конструкции и его температурное поле / Я.М. Кашин [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 5. – С. 86–99.
2. Математическая модель двигателя совмещенной конструкции электропривода сепаратора / Я.М. Кашин [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 2(51). – С. 30–38. – DOI 10.18503/2311-8318-2021-2(51)-30-38.
3. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Ч. 2. Машины переменного тока. – М. : Энергия, 1965. – 704 с.
4. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М. : Высш. шк., 2001.
5. Данилов П.Е., Барышников В.А., Рожков В.В. Теория электропривода : учебное пособие. – М. : Берлин: Директ-Медиа, 2018. – 415 с.

УДК 621.313.12

ФЛАНЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ**Кашин
Яков Михайлович****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой электротехники и электрических машин
**Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
профессор кафедры авиационного радиоэлектронного
оборудования
jlms@mail.ru**Шавернев
Иван Сергеевич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин.
shavernev.ivan@mail.ru

Аннотация. В статье изложено описание, принцип работы, применение и разновидности исполнения фланцевых генераторов.

Ключевые слова: фланцевые генераторы, БРН, схема, строение, исполнение.

Фланец обычно представляет собой стандартный конструктивный элемент, плотно соединяющий два станка или систему трубопроводов таким образом, чтобы предупредить протекание проходящего топлива в случае с трубопроводом. Для предупреждения протекания между фланцами также используются соответствующие прокладки. Эти прокладки отличаются друг от друга в зависимости от класса давления. Пример фланцевого соединения приведен на рисунке 1.

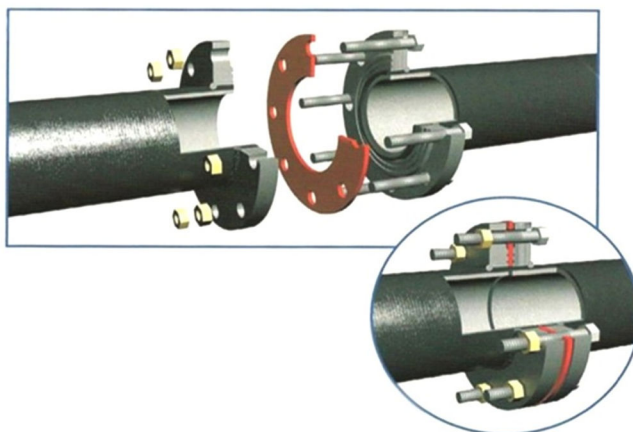


Рисунок 1 – Фланцевое соединение

Большинство фланцев имеет кругообразную форму и куда реже имеют форму четырехугольника или эллипса. В зависимости от условий эксплуатации, фланцевое соединение могут изготавливать из железа, меди и других нержавеющих материалов, которые предотвращают ржавление конструкции. Несмотря на то, что в основном фланцы используются для формирования системы трубопроводов они нашли себе применение и в оборудовании путём присоединения к системе оборудования при помощи сварки или шестерен.

В нефтяной промышленности широко известны трубные турбинные электрогенераторы, предназначенные для питания электроники телеметрических систем и использующие для выработки электроэнергии потока движущегося флюида (Болотин Н.Б. Архитектура построения геонавигационного комплекса. Модули питания. Проспект НПФ «Самарские горизонты». – С. 3. – URL : wwwsmrk.ru/sagor).

К примеру, фланцевое исполнение используется генераторами серии ГС 250. Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры генератора ГС 250-60/4 исполнения IM2001 представлены на рисунке 2.

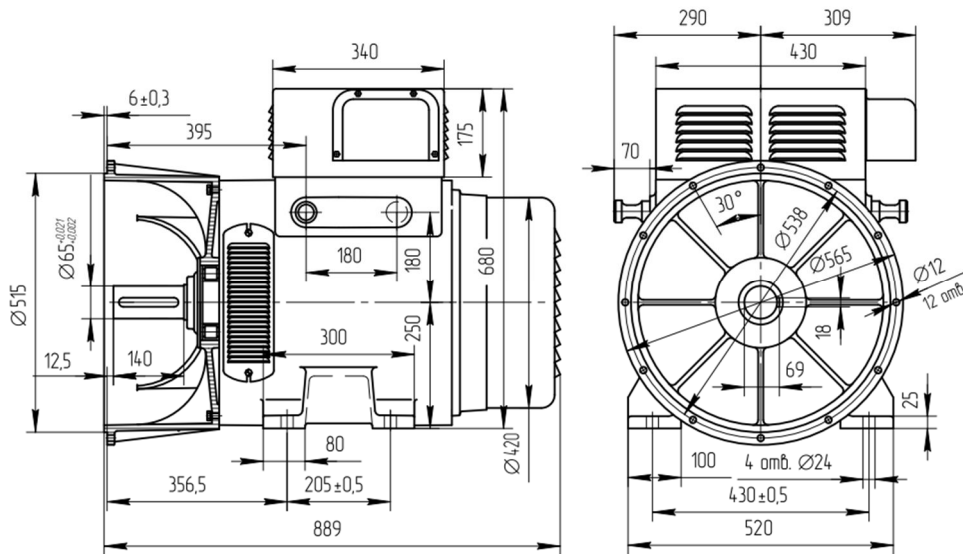


Рисунок 2 – Габаритные, установочные и присоединительные размеры генератора ГС 250-60/4

Данные генераторы предназначены для выработки трехфазного переменного тока частотой 50 Гц и обладают следующими свойствами:

- генераторы имеют две комплектации: с блоком регулирования напряжения, который закрепляется на самом генераторе и с блоком, поставляемым отдельно от генератора;
- генераторы самовозбуждающиеся. Часть вырабатываемого тока преобразуется в системе возбуждения в постоянный ток, используемый для самовозбуждения генератора;
- система возбуждения состоит из БРН и блока управления (резистора уставки напряжения);
- блок регулирования напряжения состоит из выпрямителя питания обмотки управления, силового трансформатора, и блока конденсаторов. Элементы БРН смонтированы на основании, закрываемом стальным штампованным колпаком;
- соединение генератора трубопроводом осуществляется посредством сварки или болтового соединения при условии, что возникающие при этом радиальные нагрузки не превышают допустимых для примененных подшипников значений.

Схема подключения БРН к фланцевому генератору представлена на рисунке 3.

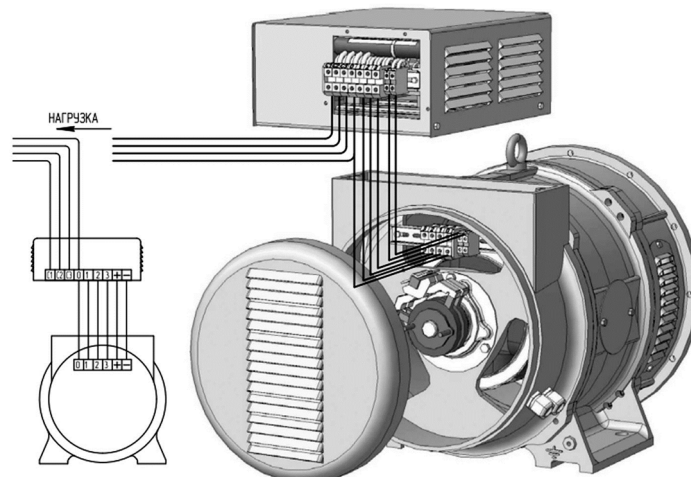


Рисунок 3 – Схема подключения БРН к фланцевому генератору

Существенным недостатком же трубных турбинных электрогенераторов является то, что их конструкция резко сужает проходное сечение трубы, по которой протекает прокачиваемый по трубе флюид. Кроме того, установка элементов электромагнитной системы таких генераторов в поперечном сечении трубы, по которой протекает прокачиваемый флюид, приводит к накоплению в них продуктов коррозии, грязи и других инородных частиц, движущихся вместе с потоком жидкости или газа. Для периодической очистки турбины и других элементов таких генераторов от этих загрязнений требуется периодический вывод трубопровода из эксплуатации (то есть периодическая остановка прокачки флюидов).

Наиболее близким к изобретению по технической сущности является аксиальный многофазный стабилизируемый магнитоэлектрический генератор, (пат. РФ № 2766875, опубл. 16.03.2022 г., бюл. № 8 / Кашин Я.М., Варенов А.Б.), содержащий корпус, вал, установленный в корпусе в подшипниковых узлах, жестко закрепленных на валу посредством первого диска аксиальных постоянных магнитов индуктора, и жестко закрепленный в корпусе посредством второго диска аксиальный магнитопровод якоря с одной активной торцевой поверхностью, в пазы которого со стороны постоянных магнитов индуктора уложена многофазная обмотка якоря. В нижней части корпуса этого генератора установлен корректор напряжения, вход которого подключен на линейное напряжение двух смежных фаз многофазной обмотки якоря, сдвинутых друг относительно друга на угол

$$\varphi = \frac{360^\circ}{m}, \quad (1)$$

где φ – угол сдвига фаз, m – число фаз многофазной обмотки якоря, а со стороны неактивной торцевой поверхности аксиального магнитопровода якоря установлен жестко закрепленный в корпусе магнитный шунт, в пазы которого уложена тороидальная обмотка подмагничивания, подключенная к выходу корректора напряжения.

Существенным недостатком принятого за прототип генератора являются его неудовлетворительные эксплуатационно-технические характеристики при преобразовании им в электроэнергию кинетической энергии прокачиваемого через трубопровод флюида (газа, жидкости) ввиду жесткого закрепления на валу этого генератора постоянных магнитов индуктора. Такое размещение элементов электромагнитной системы генератора резко сужает проходное сечение трубы, по которой протекает прокачиваемый флюид. Кроме того, установка элементов электромагнитной системы принятого за прототип генератора в поперечном сечении трубы, по которой протекает прокачиваемый флюид, также приводит к накоплению в них продуктов коррозии, грязи и других инородных частиц, движущихся вместе с потоком жидкости или газа. Для периодической очистки элементов таких генераторов, расположенных в трубе, от этих загрязнений требуется периодический вывод трубопровода из эксплуатации (то есть периодическая остановка прокачки флюидов). Это ограничивает область применения такого генератора. Весьма актуальной задачей является усовершенствование магнитоэлектрического генератора, позволяющее обеспечить расширение области его применения

Список литературы:

1. Болотин Н.Б. Архитектура построения геонавигационного комплекса. Модули питания. Проспект НПФ «Самарские горизонты». – С. 3. – URL : wwwsmrk.ru/sagor
2. Пат. РФ № 123883 U1, опубл. 10.01.2013 г. / Брусин С.Д., Брусин Л.Д. – URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_38410830_84731423.pdf
3. Пат. РФ № 2766875, опубл. 16.03.2022 г., бюл. № 8 / Кашин Я.М., Варенов А.Б. – URL : <https://patents.google.com/patent/RU2766875C1/ru>
4. Пат. РФ № 148835 U1, опубл. 20.12.2014 г. / Малявко А.В. – URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_38367243_21525704.pdf
5. Радченко С.А., Сергеев А.Н. Теплотехника и энергетические машины. Издательство. – Тула : Тульский государственный университет. – URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_24818525_52766702.pdf

УДК 621.316.542.9

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ**Кашин
Яков Михайлович****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин
jlms@mail.ru**Бондаренко
Артём Андреевич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин.
artyom_41@list.ru

Аннотация. В статье дана сравнительная характеристика вакуумных выключателей с масляными и воздушными.

Ключевые слова: вакуум, отключение, гашение дуги, коммутационная износостойкость, переходные процессы.

Высоковольтный выключатель – электротехнический защитнокоммутационный аппарат, предназначенный для создания постоянного контакта в электрической цепи и, в случае возникновения технологических нарушений, быстрого разъединения контактной группы. Одним из возможных вариантов высоковольтных выключателей является вакуумный выключатель. В последнее время они все сильнее вытесняют масляные и воздушные выключатели, а объясняется это тем, что электрическая прочность вакуума намного выше прочности других дугогасящих сред, по причине того, что концентрации частиц крайне мала в вакуумной дугогасящей камере [1, с. 180–181].

В настоящее время вакуумные выключатели все больше и больше вытесняют масляные и воздушные выключатели. Вызвано это тем, что в последние годы при производстве электроэнергетического оборудования появилась возможность в использования новейших, ранее недоступных в производстве, видов электроизоляционных материалов, применение которых заметно улучшило работоспособность и спектр возможного использования выключателей при работе с разными уровнями напряжения [2, с. 232–233].

На сегодняшний день в электрических сетях филиала ПАО «Россети Кубань» Краснодарские электрические сети г. Краснодара происходит активная модернизация существующих подстанций и строительство новых современного образца, с применением вакуумных выключателей нового поколения. Данная модернизация необходима в целях повышения надежности поставляемой электроэнергии и уменьшения затрат на ремонты и обслуживание электрооборудования.

В настоящее время в Краснодарских электрических сетях уже заменено 45 % масляных и воздушных выключателей и проводится активная замена текущего оборудования.

Необходимо выделить очевидные преимущества вакуумных выключателей:

- самостоятельность работы, то есть отсутствие необходимости в масляном и компрессорном хозяйствах, что снижает расходы на содержание выключателей;
- высокая технологическая надежность. У вакуумных выключателей частота отказа в несколько раз ниже, чем у выключателей прошлых поколений;
- высокая механическая надежность и быстродействие. Эти два фактора одновременно достигаются благодаря малому ходу контактной группы (порядка 6–10 мм при рабочем напряжении в 10 кВ, что в 10 раз короче, чем у масляных и воздушных, у которых этот параметр варьируется от 100 до 200 мм). Данное технологическое преимущество позволяет сильно уменьшить габаритные размеры и массу выключателя и значительно улучшить его быстродействие. Это позволяет использовать вакуумные выключатели в схемах быстродействующих устройств;

– коммутационная износостойкость. Число отключений номинальных токов (без осуществления ревизий и выполнения ремонтных работ) достигает порядка 10–20 тысяч, а при токах аварийных режимов – от 20 до 200 в зависимости от типа дугогасительной камеры и значения тока. Данные параметры превышают коммутационные способности других типов выключателей в десятки раз;

– высокая безопасность эксплуатации. Небольшие динамические нагрузки, малые затраты энергии на эксплуатацию привода, полное отсутствие вредных выбросов в окружающую среду и бесшумность работы делают вакуумные выключатели более приоритетными к использованию в электрических сетях.

Однако недостатки есть и у таких высокотехнологичных и современных коммутационных аппаратов. Вопрос стоимости вакуумных выключателей занимает далеко не последнее место, но он не столь значителен, в сравнении с последствиями технологических нарушений, вызванных аварийными отключениями в электрических сетях. Главное преимущество вакуумных выключателей – маленький разрыв между контактами и высокая скорость отключения, но это негативно сказывается на электрической сети, так как аппарат разрывает дугу до того момента, как ток успевает пройти через ноль, что и является причиной возникновения перенапряжений. В масляных выключателях расстояние расхождения контактов сильно больше, и пока дуга разрывалась, синусоида успевала проходить через ноль. А перенапряжение для кабельной сети – это опасно. Для избегания дальнейших неполадок в сети, необходимо использовать ограничители перенапряжения. В современном мире имеется множество достижений в разработке контактных материалов, дающих малый ток среза и обеспечивающих низкий уровень перенапряжений при отключении нагрузки.

В связи с опасностью влияния коммутационных перенапряжений возникает проблема эксплуатации вакуумных выключателей. Следовательно, вместе с вакуумными выключателями необходимо применять дополнительные аппараты защиты. А при разработке новых типов высоковольтных выключателей необходимо уделять внимание проблеме перенапряжений, так как они могут привести к значительным неисправностям в изоляции электрооборудования.

Из вышеизложенных недостатков можно сделать вывод, что вакуумные выключатели – это современное технологичное оборудование, но далеко не идеальное. Поэтому весьма актуальны работы, направленные на улучшение коммутационных характеристик, связанные с разработкой новых типов быстродействующих приводов вакуумных выключателей, модернизацией основных узлов аппарата с целью улучшения их эксплуатационных характеристик, разработка интеллектуальных систем управления силовыми вакуумными выключателями, которые в сочетании с быстродействующими приводами позволили бы резко увеличить ресурс как дугогасительной камеры, так и всего аппарата [3].

Список литературы:

1. Федоров А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. В 2 т. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – Т. 2. – 591 с.
2. Барыбин Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Гилёв А.А. Направления модернизации вакуумных выключателей среднего напряжения // Научный журнал «Евразийский Союз Ученых». – 2008. – С. 28–30.

УДК 621.313

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИГАТЕЛЯ
С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ МАССИВНЫМ РОТОРОМ****Ким
Владислав
Анатольевич****Кубанский государственный технологический университет**
ассистент кафедры электротехники и электрических машин,
аспирант
vladk-kub@mail.ru**Колбасин
Сергей Игоревич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
kolbasinserega@yandex.ru**Мараховский
Евгений
Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
zheka3334@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена математическая модель двигателя с многофункциональным массивным ротором. Созданная математическая модель позволяет учитывать влияние различных воздействующих факторов на параметры рассматриваемого двигателя, также представлена конструкция данного двигателя и описан его принцип действия.

Ключевые слова: двигатель с многофункциональным массивным ротором, ротор-барабан, математическая модель, блок-схема, сепаратор.

Современная промышленность во многих своих отраслях использует сепараторное электрооборудование, к примеру, центробежные сепараторы на молочных заводах, магнитные сепараторы, в цехах металлорежущих станков и т.д. Такое сепараторное оборудование работает по средству передачи вращающего момента от электропривода через систему валов и зубчатых передач барабану. Повысить эффективность данных сепараторов можно путём внедрения двигателя с многофункциональным массивным ротором.

Главной особенностью такого двигателя является то, что ротор выполняет также функцию рабочего органа электропривода сепаратора – барабана (далее по тексту ротор-барабан). Научное новшество данного исследования заключается не только в создании конструкции, но и в разработке методики расчета двигателя с многофункциональным массивным ротором [1, 2].

Двигатель с многофункциональным массивным ротором-барабаном представлен на рисунке 1, он включает в себя корпус 1, смонтированный внутри корпуса статора электродвигателя 2, 3 и массивный ротор-барабан 4. Статор электродвигателя представляет собой магнитопровод 2, в пазы которого уложена обмотка 3. Во время подачи напряжения на обмотку 3, начинает возникать вращающееся магнитное поле статора, которое в свою очередь наводит вихревые токи в роторе-барабане [3–4]. Ротор-барабан жестко связан с осью, установленной в корпусе в подшипниковых опорах. Вращающееся магнитное поле, созданное током, протекающим в обмотках, взаимодействует с магнитным полем, созданным вихревыми токами в роторе-барабане, в результате этого взаимодействия возникает вращающий момент, который приводит во вращение ротор-барабан вокруг оси вращения [4].

Для проведения полноценного исследования двигателя с многофункциональным массивным ротором была составлена его математическая модель (1), за основу которой принята теория обобщенного электромеханического преобразователя энергии [5–7] для трех осей α , β , γ .

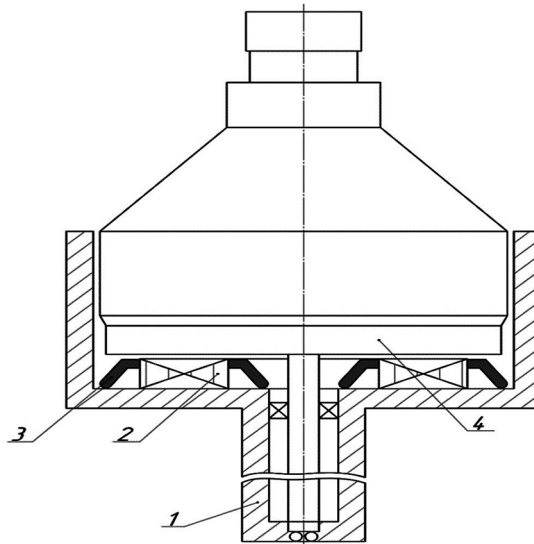


Рисунок 1 – Двигатель с multifunctional массивным ротором

Математическая модель двигателя с multifunctional массивным ротором была реализована в программном пакете MatLab Simulink. Скриншот блок-схемы из программного пакета MatLab Simulink цифрового лабораторного стенда исследования режимов работы двигателя с multifunctional массивным ротором приведена на рисунке 2. Представленная блок-схема строилась на базе стандартных блоков программного пакета MatLab Simulink, она позволяет выполнять различные математические операции, а также имеет функции ввода и вывода данных [5–7].

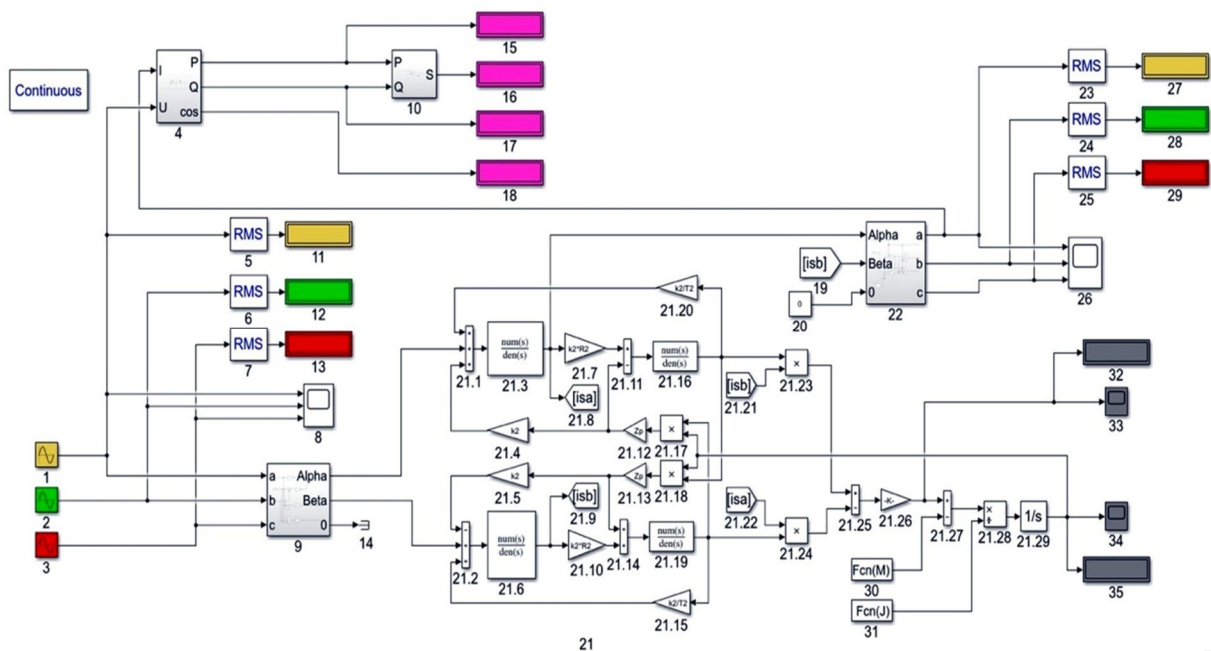


Рисунок 2 – Блок-схема лабораторного стенда

Созданная математическая модель позволяет учитывать влияние различных воздействующих факторов на параметры двигателя с multifunctional массивным ротором. К таким факторам относятся, к примеру, параметры напряжения сети (амплитуда питающего напряжения, частота питающего напряжения, степень искажения синусоидальной формы кривой питающего напряжения высшими гармониками напряжения, например пятой или седьмой); изменения момента сопротивления и момента инерции, который создается сепарируемым продуктом.

Список литературы:

1. Пат. 2 706 320 Российская Федерация, МПК7 В04В 9/02, В04В 9/00, В04В 9/04, В04В 15/00. Сепаратор для полидисперсных жидких систем / Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Ким В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – № 2019111177; заявл. 12.04.19; опубл. 15.11.19, Бюл. № 32.
2. Пат. 2 752 726 Российская Федерация, МПК7 В04В 9/02 (2021.02). Центробежный сепаратор / Кашин Я.М., Копелевич Л.Е.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – № 2020137494; заявл. 16.11.2020; опубл. 30.07.2021, Бюл. № 22.
3. Установка для сепарации нефти на базе двигателя-сепаратора / Б.Х. Гайтов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 7. – С. 90–92. – DOI : 10.24887/0028-2448-2017-7-90-92.
4. Энергосберегающая сепараторная установка для жидких сред / Б.Х. Гайтов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 1(373). – С. 85–86. – DOI 10.26297/0579-3009.2020.1.23.
5. V. Samorodov, V.A. Kim and E.A. Marakhovsky. Static and Dynamic Moments of the Separator for Polydisperse Liquid Systems // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – 2020. – P. 1–6. – DOI : 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271311.
6. Y.M. Kashin, L.E. Kopelevich and V.A. Kim. Determination of the Parameters of the Electromagnetic System of the Installation for Oil Treatment // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – 2020. – P. 1–7. – DOI : 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111990.
7. L.E. Kopelevich, V.A. Kim and I.N. Avtaykin. Analysis of the Impact of Electric Power Quality on the Operation of a Combined-Design Separator // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – 2020. – P. 1–6. – DOI : 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271272.

УДК 621.313

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ ДВИГАТЕЛЯ
С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ МАССИВНЫМ РОТОРОМ****Копелевич
Лев Ефимович****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин
kklev@mail.ru**Колбасин
Сергей Игоревич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
kolbasinserega@yandex.ru**Мараховский
Евгений
Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
zheka3334@mail.ru**Голованов
Александр
Александрович****Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
заместитель начальника цикла эксплуатации
авиационной техники
golovavia@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены электромагнитные процессы двигателя с многофункциональным массивным ротором. Получены дифференциальные уравнения, описывающие электромагнитные процессы, которые позволяют получить функциональные связи между динамическими характеристиками и параметрами, разработанного сепаратора.

Ключевые слова: двигатель с многофункциональным массивным ротором, электромагнитные процессы, ротор-барабан, сепаратор.

Выпуск высококачественной продукции и удовлетворение потребностей народного хозяйства являются главными задачами промышленности. Для этого необходимо наращивать выпуск наиболее экономических видов машин, систематически обновлять выпускаемую продукцию, повышать ее технический уровень и качество, улучшать эксплуатационные и потребительские свойства изделий. Исследуемый двигатель с многофункциональным массивным ротором может найти широкое применение во всевозможных отраслях промышленности, он может быть задействован для модернизации различного сепараторного электрооборудования, к примеру, в нефтяной промышленности, в цехах металлургических станков и т.д. [1, 2].

Комплексное исследование, двигателя сепаратора совмещенной конструкции с массивным ротором, проводилось при помощи математической модели данного электродвигателя, построенной на базе дифференциальных уравнений, которые описывают электромагнитные процессы, происходящие в нём, что, в свою очередь, позволяет в полном объёме получить функциональные связи между динамическими характеристиками и параметрами разработанного двигателя [3–4].

Порядок и структура гармонического ряда напряжений, которые подаются на обмотки фаз статора, представлены в виде выражения 1.а (в развернутой записи – три уравнения):

$$U_m(t) = A_{mh} \cdot \sin(h \cdot \omega_f \cdot t) + \dots + A_{mh} \cdot \sin(h \cdot \omega_f \cdot t), \quad (1.a)$$

где $U_m(t)$ – фазное напряжение сети в функции времени, позволяющее учитывать несинусоидальность питающего напряжения при моделировании, представлено

в виде ряда Фурье; A_{mh} – амплитудные значения 1-й, 2-й и последующих гармоник; $\omega_f = 2 \cdot \pi \cdot f_c$ – угловая частота сети, где f_c – частота сети; индекс m может принимать значение 1, 2 или 3 что указывает на принадлежность параметра к одной из трех осей α , β , γ , соответственно; индекс h указывает на порядковый номер гармоники.

Электромагнитные процессы, протекающие в статоре, описывают уравнения 1.b (в развернутой записи – три уравнения):

$$U_m(t) = R_s i_{sm}(t) + L_s \frac{di_{sm}(t)}{dt} + M \frac{di_{rm}(t)}{dt} - \frac{M}{2} \frac{d}{dt} (i_{si}(t) + i_{ri}(t) + i_{sj}(t) + i_{rj}(t)), \quad (1.b)$$

где $i_{sm}(t)$ – токи, протекающие в цепях статора; $i_{rm}(t)$ – токи, протекающие в цепях ротора; R_s – активное сопротивление статорной обмотки; L_s – индуктивность статорной обмотки; M – взаимная индуктивность; индексы $i = m + 1$ и $j = m + 2$ указывают на принадлежность параметра к одной из трех осей α , β , γ (если индексы i или j принимают значение больше 3, то из значения индекса вычитается 3).

Электромагнитные процессы, протекающие в роторе-барабане, описывают уравнения 1.c (в развернутой записи – три уравнения):

$$0 = R_r i_{rm}(t) + L_r \frac{di_{rm}(t)}{dt} + M \frac{di_{sm}(t)}{dt} - \frac{M}{2} \frac{d}{dt} (i_{si}(t) + i_{ri}(t) + i_{sj}(t) + i_{rj}(t)) + \left\{ L_r [i_{ri}(t) - i_{rj}(t)] + M [i_{si}(t) - i_{sj}(t)] - \omega_r(t) \right\} \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad (1.c)$$

где R_r – активное сопротивление многофункционального массивного ротора; L_r – индуктивность многофункционального массивного ротора; $\omega_r(t)$ – угловая скорость многофункционального массивного ротора.

Уравнения 1.b и 1.c связаны между собой через потокосцепления обмоток. Уравнение 1.d описывает уравнение моментов установки – уравнение движения.

$$M_{EM}(t) = M_{SR}(t) + M_{DR}(t), \quad (1.d)$$

где $M_{EM}(t)$ – электромагнитный момент двигателя; $M_{SR}(t)$ – статический момент сопротивления установки; $M_{DR}(t)$ – динамический момент установки.

Зависимости составляющих моментов установки, зависящие от токов статора и ротора (электромагнитный момент), а также от масс и моментов инерций отдельных частей установки (момент статического сопротивления и динамический момент) приведены в выражениях 1.e:

$$M_{EM}(t) = \frac{p\sqrt{3}}{2} M \times \left\{ [i_{s1}(t) \cdot i_{r3}(t) + i_{s2}(t) \cdot i_{r1}(t) + i_{s3}(t) \cdot i_{r2}(t)] - [i_{s1}(t) \cdot i_{r2}(t) + i_{s2}(t) \cdot i_{r3}(t) + i_{s3}(t) \cdot i_{r1}(t)] \right\} \quad (1.e)$$

$$M_{SR}(t) = k_{\pi} \cdot f_{fr} \cdot g \cdot \frac{m_a + m_d + m(t)}{2 \cdot \eta}$$

$$M_{DR}(t) = [J_a + J_d + J_l(t)] \frac{d\omega_r(t)}{dt}$$

где k_{π} – коэффициент учета технологических и монтажных погрешностей; f_{fr} – коэффициент трения подшипниковой опоры; g – ускорение свободного падения; m_a – масса оси сепаратора; m_d – масса барабана сепаратора; $m(t)$ – масса се-

парируемого продукта; d_d – диаметр барабана; η – механический КПД двигателя; J_a – момент инерции оси сепаратора; J_d – момент инерции барабана; $J_l(t)$ – момент инерции сепарируемого продукта.

Уравнения 1.d и 1.e являются уравнениями движения установки.

Уравнения 1.a – 1.e в совокупности представляют собой математическую модель двигателя с многофункциональным массивным ротором (для краткости математическая модель представлена в свернутом виде).

В результате проводимых исследований была не только разработана математическая модель двигателя с многофункциональным массивным ротором, составленная на базе дифференциальных уравнений, которые описывают электромагнитные процессы в двигателе сепаратора совмещенной конструкции с массивным ротором, но и получена функциональная связь между динамическими характеристиками и параметрами, разработанного сепаратора.

Список литературы:

1. Отечественные и зарубежные установки для переработки нефти и перспективы их развития / Я.М. Кашин [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2020. – № 3(125). – С. 12–18.
2. Технология прямого привода применительно к установкам центрифугального сепарирования / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2020. – № 1(256). – С. 75–79.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М. : Высш. шк., 2001.
4. Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами. – М. – Л. : Энергия, 1966.

УДК 621.313-57

ВЕКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО СНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ТИПА ДАЗО

**Коробейников
Борис Андреевич**

Кубанский государственный технологический университет
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электроснабжения
промышленных предприятий

**Оппаходжаев
Алишер Максудович**

Кубанский государственный технологический университет
старший преподаватель
кафедры электроснабжения промышленных предприятий
alisher.o.m@gmail.com

**Луценко
Алексей Сергеевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент

Аннотация. При эксплуатации асинхронных двигателей часто возникают внешние кратковременные воздействия напряжения и нагрузки. При этом возникает необходимость оценки влияния этих воздействий на сохранение работоспособности электропривода.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, координаты обобщенного вектора, система электроснабжения.

Возникающие при снижении напряжения электромагнитные переходные процессы, а именно свободные составляющие, протекают незначительное время и не оказывают существенного влияния на работу асинхронного двигателя. Поэтому для практических расчетов указанного режима переходные процессы следует рассматривать как совокупность квазиустановившихся режимов, связанных с изменением скольжения.

Для проведения моделирования используем математическую модель асинхронного двигателя с глубокопазым ротором в координатах обобщенного вектора.

Схема для глубокопазного асинхронного двигателя с эквивалентным ротором приведена на рисунке 1.

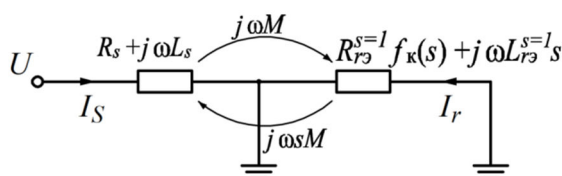


Рисунок 1 – Схема замещения асинхронного двигателя с глубокопазым ротором

Для глубокопазного асинхронного двигателя ДАЗО-1569-8/10 параметры схемы замещения следующие:

$$L_s = 0,016; L_{r1} = 0,0164; L_{r2} = 0,01645; M = 0,01583;$$

$$R_s = 0,0067; R_{r1} = 0,006753; R_{r2} = 0,1443,$$

эквивалентирование двухконтурного ротора к одноконтурному даёт следующие результаты:

$$L_{r\sigma} = 0,016154; R_{r\sigma}^{s=1} = 0,0304 f_K(s).$$

$$f_K(s) = -4,736554s^5 + 14,922692s^4 - 17,238123s^3 + 7,962612s^2 - 0,093608s + 0,223872.$$

Диаграмма кратковременного снижения напряжения приведена на рисунке 2.

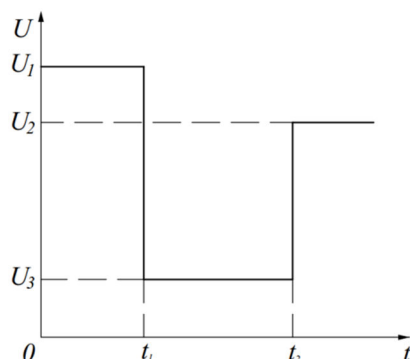


Рисунок 2 – Диаграмма изменения питающего напряжения асинхронного двигателя

На рисунке 3 приведены осциллограммы тока статора, скорости вращения, электромагнитного момента при кратковременном снижении с последующим восстановлением до номинального значения для двигателя типа ДАЗО.

При падении напряжения до $0,5 U_H$ в течение 1 сек. Имеет место снижение скорости вращения до $0,96 n_H$. Ток в течение 1 секунды увеличивается до $2 \cdot I_H$, а при восстановлении напряжения имеет место кратковременный скачок тока до $2,5 \cdot I_H$.

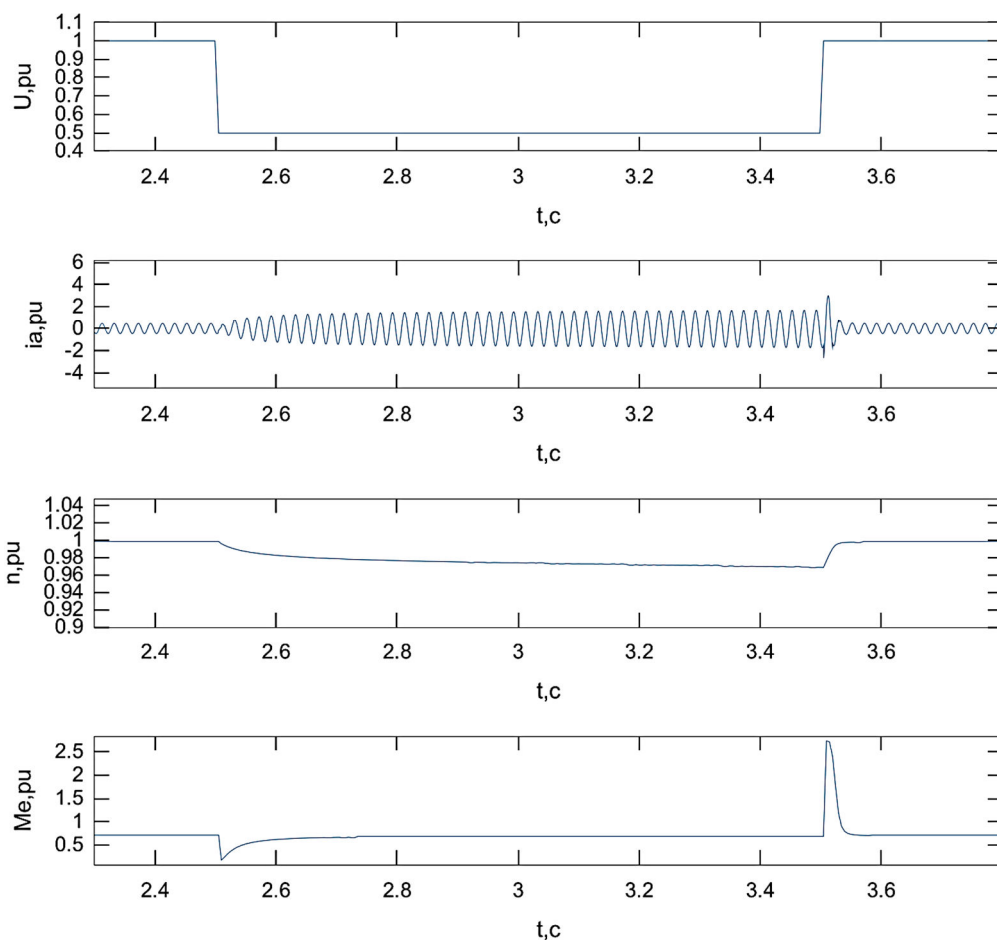


Рисунок 3 – Питающее напряжение U , ток статора i_a , скорость вращения n , электромагнитный момент M_e при кратковременном снижении напряжения у асинхронного двигателя ДАЗО

На рисунке 4 приведены изменения вышеуказанных величин при кратковременной потере напряжения с дальнейшим его восстановлением до $0,7 U_H$. При отключении питающего напряжения в течение 2 секунд скорость вращения двигателя снижается до $0,3 n_H$. Ток при восстановлении напряжения до $0,7 U_H$ остается увеличенным до $4 \cdot I_H$. Однако скорость вращения продолжает падать до 0, что указывает на нарушение устойчивости асинхронного двигателя.

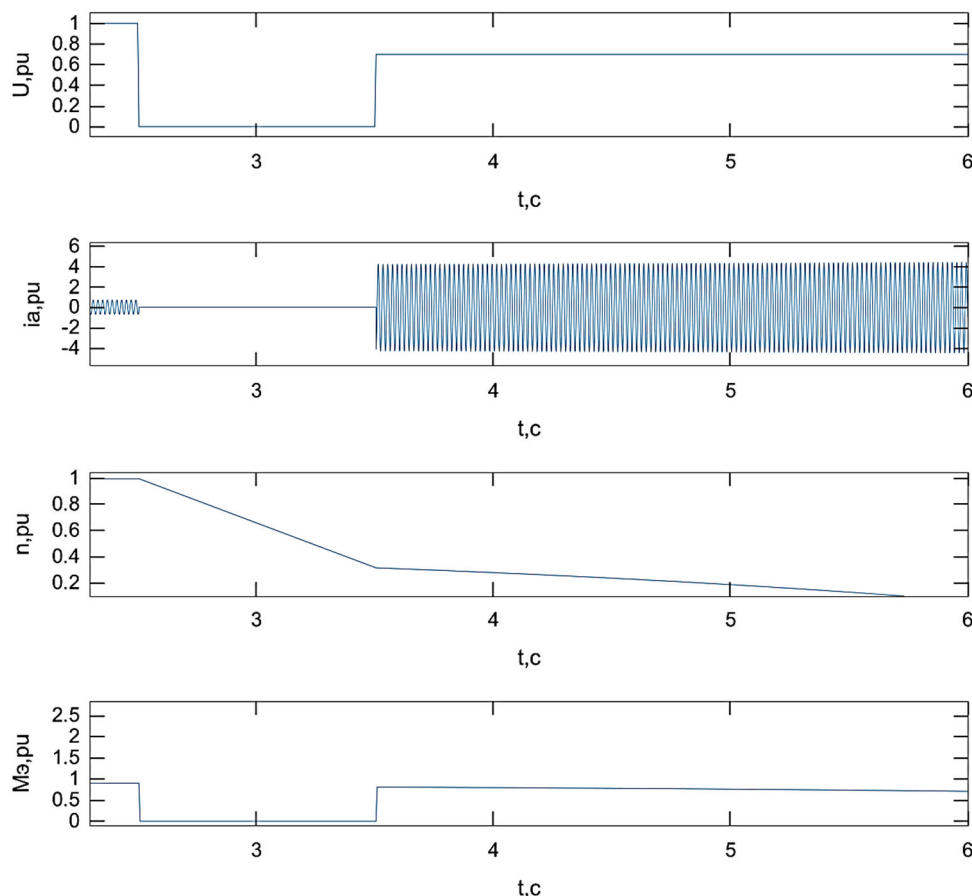


Рисунок 4 – Питающее напряжение U , ток статора i_a , скорость вращения n , электромагнитный момент $Mэ$ при кратковременном отключении и дальнейшем включении двигателя ДАЗО на напряжение $0,7 U_H$

Список литературы:

1. Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Перспективы применения математических моделей систем электроснабжения в координатах обобщенного вектора // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 17 апреля 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 1. – С. 324–327.
2. Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Моделирование пуска двигателя серии 4А3М при пониженном напряжении сети в координатах обобщенного вектора // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 17 апреля 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 1. – С. 320–323.
3. Математическая модель многофазного измерительного преобразователя в матричном виде / Б.А. Коробейников [и др.] // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 17 апреля 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 1. – С. 336–339.
4. Korobeynikov B.A., Oppakhodzhaev A.M., Sidorov D.I. Vector Simulation of Deep-Bar Induction Motor // Journal of Physics: Conference Series, Vladivostok, 07–08 октября 2021 года. – Vladivostok, 2021. – P. 012100. – DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012100.

5. Коробейников Б.А., Сидоров Д.И., Оппаходжаев А.М. Обобщенная математическая модель однофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем // Электроэнергетические комплексы и системы : Сборник научных статей. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2012. – С. 21–33.
6. Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Эксплуатация промежуточного измерительного преобразователя в режиме холостого хода // Referatotech : Материалы Международной научно-практической конференции. В 3-х томах (Краснодар, 24 октября 2020 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – Т. 3. – С. 78–82.
7. Математическое моделирование автотрансформатора в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2021. – № 4. – С. 137–145.
8. Математическое моделирование синхронного двигателя в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2021. – № 5. – С. 78–87.
9. Математическое моделирование трехобмоточного трансформатора в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 1. – С. 36–41.
10. Математическое моделирование статических элементов системы электропитания в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 1. – С. 42–49.
11. Захаров Г.А., Сидоров Д.И. Исследование влияния искажения входного сигнала тока на работу дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем // Технические и технологические системы : Материалы седьмой международной научной конференции «ТТС-15». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – С. 117–120.
12. Патент № 2333562 С1 Российская Федерация, МПК H01F 30/14, H02M 5/14. Однофазный трансформатор с вращающимся магнитным полем : № 2007120825/09 : заявл. 04.06.2007 : опубл. 10.09.2008 / Б.А. Коробейников, Д.И. Сидоров ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет» (ГОУВПО «КубГТУ»).
13. Идентификация параметров математической модели регулятора возбуждения типа АС7В на основе данных численного эксперимента / О.И. Чанкаева [и др.] // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 23 октября 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 263–266.
14. Определение обобщенной корректирующей функции для группы асинхронных двигателей серии 4А3М / Б.А. Коробейников [и др.] // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 23 октября 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 31–34.
15. Моделирование электромагнитных процессов при пуске двигателя ДАЗО4 в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 23 октября 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 27–30.

УДК 621.31.004.18

**КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАТОРНОГО УСТРОЙСТВА
С КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКОЙ В СИСТЕМЕ SIMULINK – SIMSCAPE****Коробейников
Борис Андреевич****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электроснабжения
промышленных предприятий**Печенкин
Андрей Геннадьевич****Кубанский государственный технологический университет**
старший преподаватель кафедры
электроснабжения промышленных предприятий
andrph_66@mail.ru**Обухов
Александр Викторович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант

Аннотация. В статье рассматривается разработка компьютерной модели трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой (ТУСКО) для преобразования однофазного электрического сигнала в шестифазный. Проведена сборка и настройка параметров модели ТУСКО. При моделировании используется программный комплекс *Matlab*, *Simulink* приложение *Simscape*. По результатам моделирования, выполнена оценка величины качества полученного выходного шестифазного напряжения.

Ключевые слова: релейная защита, модель, трансформаторное устройство, короткозамкнутая обмотка, *Matlab*, *Simulink*, *Simscape*.

В переходных режимах и при искажениях в электрических сетях для обеспечения надежной работы устройств релейной защиты (РЗ) в качестве измерительного органа, формирующего информационные признаки, может использоваться трансформаторное устройство с короткозамкнутой обмоткой (ТУСКО) и многофазным выходным напряжением [1].

Целью настоящей работы является разработка компьютерной модели измерительного органа ТУСКО и шестифазным выходным напряжением. На основе теории однофазно-многофазных преобразователей тока и напряжения [2, 3], проведенной оптимизации [4] и идентификации параметров первичных обмоток [5, 6] были выбраны параметры вторичных выходных обмоток [7, 8], необходимых для формирования шестифазной системы выходных напряжений ТУСКО.

Для последующего исследования в программном комплексе *MatLab* среде *Simulink* была построена компьютерная модель ТУСКО с 6-фазной системой выходных напряжений [9], основным элементом которой является подсистема *Subsystem TUsCO*, собранная на элементах библиотеки *Simscape-Electrical*. Трансформаторное устройство сформировано на стандартных блоках библиотеки *Magnetic Elements* таких как:

- *Electromagnetic Converter, Winding* – для формирования первичных и вторичных обмоток трансформаторов Tr_1 и Tr_2 ;
- *Reluctance (Nonlinear Reluctance)* – для моделирования параметров магнитной цепи;
- *MMF Sensor, Flux Sensor* – для измерения магнитных параметров цепи (магнитодвижущей силы МДС и магнитного потока Φ);
- *Voltage Sensor, RMS, Fourier* – для измерения параметров электрических величин;
- *Display* – для отображения результатов измерения электрических и магнитных величин.

Формирование шестифазной системы выходных напряжений выполнено за счет подключения определенным образом выводов блоков Winding [10].
Структурная схема подсистемы *TUSCO* в среде Simulink программы Matlab, приведена на рисунке 1.

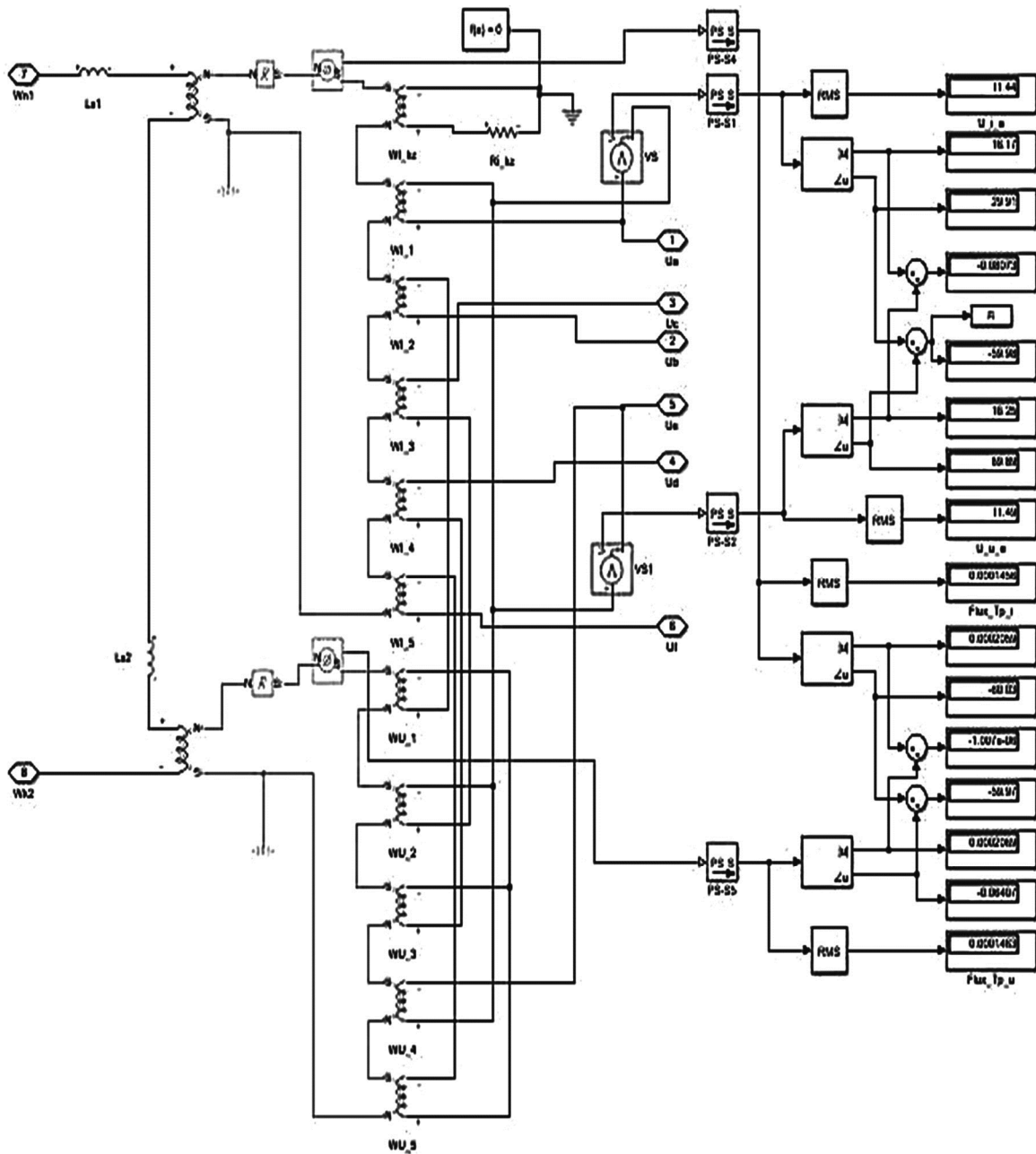


Рисунок 1 – Структурная схема подсистемы *TUSCO* в среде Simulink программы Matlab

Результат формирования шестифазной симметричной системы напряжений показаны на рисунке 2.

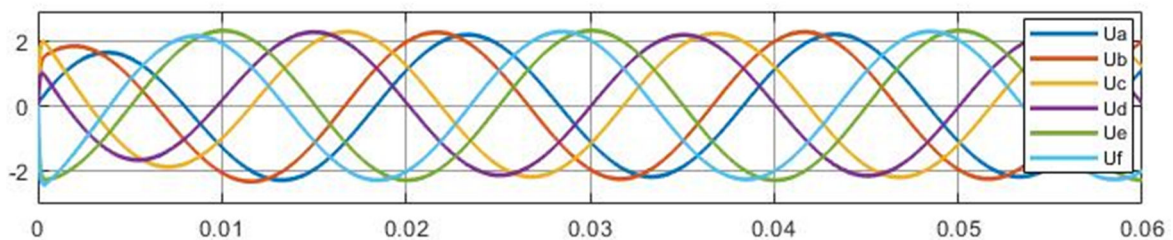


Рисунок 2 – Шестифазная система выходных напряжений ТУСКО

Результаты оценки качества формирования шестифазной симметричной системы напряжений ТУСКО (при $I_n = 5$ А) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки качества выходного напряжения ТУСКО

№ п/п	Параметры качества напряжения	U_a	U_c	U_e	U_b	U_d	U_f
1	Коэффициент амплитуды K_a	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
2	Коэффициент формы K_ϕ	1,110	1,110	1,120	1,109	1,110	1,108
3	Коэффициент несинусоидальности $K_{нс} \cdot 10^{-8}$, %	3,96	8,42	2,38	15,72	31,21	20,21
4	Коэффициент искажения синусоидальности кривой, K_U , %	0,002	0,003	0,005	0,004	0,001	0,004
5	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, K_{2U} , %	0,05589			0,05525		
6	Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, K_{0U} , %	0,09454			0,09396		

Вывод: Предложенная компьютерная модель ТУСКО позволяет получить, на выходе устройства – шестифазную симметричную систему напряжений, необходимую для формирования информационных признаков релейной защиты с необходимой точностью, а также оценивать их качественные характеристики без использования натурального эксперимента.

Список литературы:

1. Печенкин А.Г., Коробейников Б.А., Смаглиев А.М. Трансформаторное устройство с короткозамкнутой обмоткой для преобразования однофазного электрического сигнала в шестифазный. Патент на полезную модель 206352 U1, 07.09.2021. Заявка № 2021113008 от 04.05.2021.
2. Измерительный орган резервной дистанционной защиты на основе однофазно-многофазных преобразователей / Б.А. Коробейников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2018. – Т. 61. – № 5. – С. 55–60.
3. Дистанционная защита ЛЭП на основе многофазных трансформаторных преобразователей тока и напряжения / Г.А. Захаров [и др.] // Наука. Новое поколение. Успех : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – С. 42–46.
4. Electromagnetic Converters with Short-Circuited Winding for Power Systems Protection / B.A. Korobeynikov [et al.] // IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D). – 2022. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/TD43745.2022.9816971.
5. Идентификация параметров многофазного преобразователя тока для релейной защиты электрических сетей / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 5. – С. 99–106.
6. Идентификация параметров многофазного преобразователя тока для устройств релейной защиты с учётом активных сопротивлений обмоток / Б.А. Коробейников [и др.] // Кибернетика энергетических систем. Сборник материалов XLI международной научно-технической конференции. – 2020. – С. 219–222.
7. Выбор параметров многофазной выходной обмотки однофазно-многофазного преобразователя с короткозамкнутой обмоткой / Б.А. Коробейников [и др.] // REFERATOTECH : материалы Международной научно-практической конференции : в 3 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – Т. 1. – С. 194–197.

8. А.Г. Печенкин, Э.Д. Шкереда Анализ влияния коэффициента связи обмоток на параметры идентификации многофазного преобразователя с короткозамкнутой обмоткой // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 2. – С. 106–110.

9. Моделирование трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой в среде Matlab Simulink / Б.А. Коробейников [и др.] // Наука. Новое поколение. Успех : материалы III Международной научно-практической конференции (29 апреля 2022 года, Краснодар). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 150–153.

10. Б.А. Коробейников, А.Г. Печенкин Формирование многофазного выходного напряжения в трансформаторном устройстве с короткозамкнутой обмоткой и оценка его качества // Векторы развития ТЭК России : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 57–61.

УДК 621.316

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СЕТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Кузнецов
Анатолий Викторович**

Ульяновский государственный технический университет
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электроснабжение»
kav2@ulstu.ru

**Добренький
Ростислав
Александрович**

Ульяновский государственный технический университет
студент магистратуры
rdobrenkij@bk.ru

Аннотация. В статье получены выводы по эффективности компенсации реактивной мощности в сети потребителя при установке трансформаторов разных мощностей.

Ключевые слова: компенсирующие устройства, энергосбережение, источник питания, реактивная мощность, экономия, трансформаторы, математическая модель, критерии оценки эффективности компенсации реактивной мощности, экономия.

В работе применены следующие сокращения: КУ – компенсирующие устройства, КРМ – компенсация реактивной мощности, УКРМ – устройства компенсации реактивной мощности, ЭСО – энергоснабжающая организация.

Потери мощности и электрической энергии в сетях РФ достигают значительных величин. Для эффективной компенсации реактивной мощности КУ подключают в узловых точках сети. При подключении УКРМ в непосредственной близости к потребителю достигается наилучшее снижение потерь электроэнергии. В данном случае потери снижаются как в сети потребителя, так и в сетях сетевых организаций от места установки КУ до генераторов станций (рис. 1). На рисунке 1 обозначены: G1 – генератор, КЛ1 – кабельная линия, T1 – трансформатор, СВ1 – УКРМ, МА1 – двигательная нагрузка.

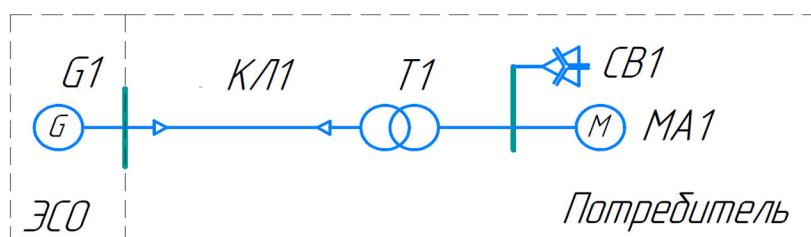


Рисунок 1 – Граница балансовой принадлежности

Одним из важнейших экономических критериев оценки принимаемого решения, которыми руководствуется потребитель электроэнергии при установке и эксплуатации КУ в своих сетях является минимум срока окупаемости. Математическая модель была получена в процессе написания статьи [1]. Для потребителя в силу ведомственной принадлежности электрических сетей информация для расчета является недоступной в полном объеме. Эти расчеты может производить только сетевая организация. Без этой составляющей срок окупаемости завышен. Поэтому расчёт произведен по упрощенному критерию.

По данной модели упрощенного критерия были рассчитаны сроки окупаемости КУ для трансформаторов представленных в таблице 1.

Таблица 1

№	Марка	Ном. мощность (кВА)	U_{xx} (кВт)	$U_{кз}$ (кВт)	$U_{кз}$ (%)	I_{xx} (%)	$I_{НОМ}$ (А)
1	ТМГ-16/10	16	0,085	0,44	4,5	2,8	0,88
2	ТМГ-25/10	25	0,63	0,75	4,5	2,4	1,37
3	ТМГ-40/10	40	0,26	0,98	4,5	2	2,20
4	ТМГ-63/10	63	0,34	1,48	5,5	1,8	3,46
5	ТМГ-100/10	100	0,4	2,4	4,5	1,6	5,50
6	ТМГ-160/10	160	0,56	3,3	5,5	1,4	9,24
7	ТМГ-250/10	250	0,58	3,7	4,5	1,4	13,75
8	ТМГ-400/10	400	0,83	5,9	4,5	1,0	21,99
9	ТМГ-630/10	630	1,05	7,6	5,5	0,8	36,37
10	ТМЗ-1000/10	1000	3,3	12,5	5,5	0,6	55,05
11	ТМГ-1250/10	1 250	1,65	12,4	6	0,5	72,17
12	ТМГ-1600/10	1600	2,1	16,5	6	0,5	87,98
13	ТМГ-2500/10	2 500	1,65	12,4	6	0,5	144,34
14	ТМ-4000/10	4 000	4	33,5	7,5	0,9	219,94

Таким образом, эффективная компенсация реактивной мощности при непрерывном производстве можно подобрать УКРМ для всех рассмотренных трансформаторов, при условии длины кабельной линии больше 1 км для трансформаторов мощностью выше 100 кВА, больше 2 км для трансформаторов мощностью меньше 100 кВА и для ТМГ16 и ТМГ25 кабельная линия должна быть больше 5 и 3 км соответственно.

Для трехменного производства, при условии длины кабельной линии больше 10 км для ТМГ-16. Для трансформаторов мощностью свыше 100 кВА. Длина кабельной линии свыше 2 км, в остальных случаях длина кабельной линии должна быть больше.

Для двухменного, при условии, что мощность трансформатора больше 25 кВА, а длина кабельной линии превышает 2 км для трансформаторов свыше 160 кВА и свыше 7 км для трансформаторов мощности свыше 40 кВА, для ТМГ-25 длина кабельной линии превышает 9 км.

Для одноменного производства можно подобрать УКРМ для трансформатора рассмотренных трансформаторов, что мощность трансформатора больше 100 кВА. И в большинстве случаев длина кабельной линии превышает 5 км.

В других случаях КРМ не эффективна.

Список литературы:

1. Кузнецов А.В., Ребровская Д.А., Добренький Р.А. Оценка эффективности компенсации реактивной мощности в сети потребителя электроэнергии. – 2021.
2. Кузнецов А.В., Ребровская Д.А., Чикин В.В. Модель дифференцированного тарифа для управления режимом потребления реактивной мощности // Интеллектуальная Электротехника. – 2021. – № 1. – С. 31–52. – DOI : 10.46960/2658-6754_2021_1_31.
3. Кузнецов А.В., Аргентова И.В. Математическая модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя // Электротехника. – 2016. – № 10. – С. 68–73.

УДК 621.314.58

РАБОТА АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПИТАНИИ ДЭМ**Ладенко
Николай Васильевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
lad-kolya@yandex.ru**Креминский
Богдан Олегович****Кубанский государственный технологический университет**
аспирант, старший преподаватель кафедры электротехники
и электрических машин
bogdankreminskii@mail.ru**Ефременко
Дмитрий Алексеевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
efremenko444@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены процессы функционирования автономных инверторов напряжения, питающих двухмерную электрическую машину. Увеличение мощности инверторов оказывает негативное влияние на полупроводники, которое снижается схемным решением коммутирующего контура. Приведен вариант параллельного подключения источников подзаряда к контуру коммутации с коммутирующими тиристорами. Также приведен схемный вариант без источников питания с наличием реактора, позволяющий улучшить коммутационные процессы, энергетические показатели, работу и инвертора в целом.

Ключевые слова: двухмерная электрическая машина, автономный инвертор напряжения, источник подзаряда, тиристор, диод, коммутирующий реактор.

В регулируемых АИН рабочие элементы обычно включены по трехфазной мостовой схеме. Если токи превышают допустимые значения для тиристорov и диодов, то используется параллельное включение их через индуктивные делители тока, а снижение напряжения до допустимого значения обеспечивается последовательным соединением элементов с обязательным шунтированием их цепочками, выравнивающими распределение напряжения между элементами в статических и динамических режимах.

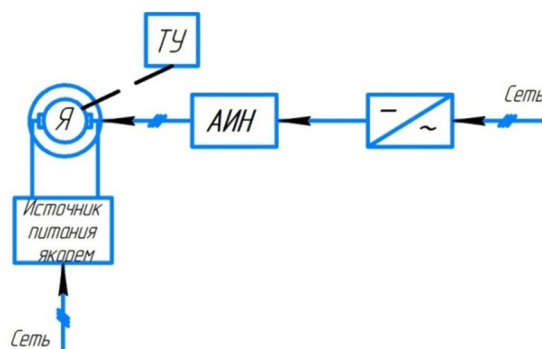


Рисунок 1 – Принципиальная схема для питания обмотки

Как правило, это происходит при лабораторных испытаниях новых АИН, и задача сводится к снятию параметров в широком диапазоне регулирования. Один из возможных путей реализации данной задачи является использование АИН с глубоким регулированием. Если система управления обеспечивает получение фазового угла между управляющими импульсами отдельных инверторных блоков, то достигается только увеличение мощности АИН, но и переход к m -фазным АИН ($m > 3$), что улучшает гар-

монический состав выходного напряжения, позволяя уменьшить амплитуды низкочастотных гармонических составляющих (5-й, 7-й и т.п.).

При последовательном введении источников в контур коммутации схемы предельно просто, но установившееся значение напряжения $U_{C0} \ll U_n$. Напряжение U_{C0} определяется коэффициентом затухания контура k_δ . Мощность источников подзаряда в этой схеме достаточно велика, так как их ток равен полному току коммутирующего контура.

Параллельное подключение источников подзаряда U_{1n}, U_{2n} к коммутирующему контуру (рис. 2,а), как правило, требует применения дополнительных коммутирующих тиристоров [1, 2, 3], и только в маломощных низкочастотных АИН возможно подключение источников через резисторы.

Если момент открывания тиристоров группы подзаряда не совпадает с четот коммутации рабочих тиристоров, как показано на рисунке 2,б, то ток подзаряда равен:

$$i_{\Pi} = (U_{\Pi} - U_{C,K}) \sqrt{\frac{C}{L+L_{\Pi}}} e^{-\delta_{\Pi} t} \sin \omega_{\Pi} t, \quad (1)$$

где $U_{C,K}$ – конечное значение напряжения на конденсаторе после предыдущей коммутации; $\delta_{\Pi} = (r + r_B)/2(L + L_B)$.

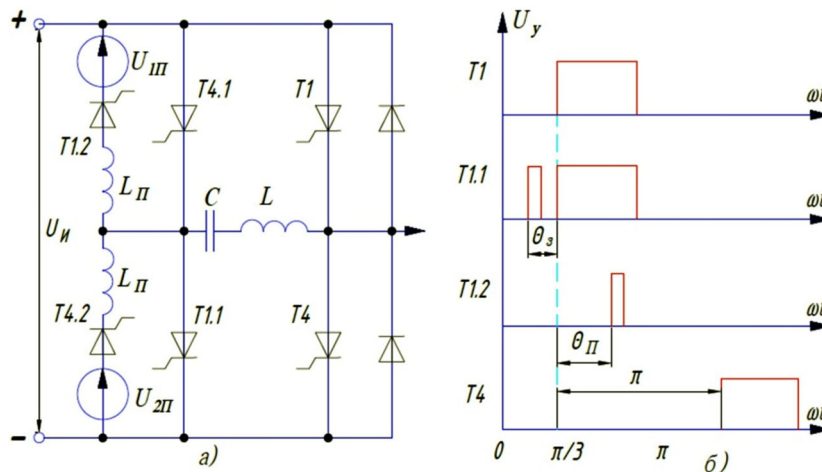


Рисунок 2 – Параллельное подключение источников подзаряда к контуру коммутации:
а – принципиальная схема; б – диаграмма управляющих импульсов

$$\omega_{\Pi} = \sqrt{\omega_{\Pi 0}^2 - \delta_{\Pi}^2}; \quad \omega_{\Pi 0} = 1/\sqrt{C(L + L_{\Pi})}$$

Напряжение на коммутирующем конденсаторе к концу процесса подзаряда (напряжение перед следующей коммутацией)

$$U_{C0} = (U_{\Pi} + U_{C,K}) = U_{\Pi} + (U_{\Pi} - U_{C,K}) e^{-k_{\delta, \Pi} \pi}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что контуры подзаряда работают при $U_n > U_{C,K}$ и напряжение на коммутирующем конденсаторе $U_{C,K} \approx U_n$, если $k_\delta \rightarrow 0$, т.е. при выборе $U_n = U_{C,0max}^*$, где $U_{C,0max}$ – максимально возможное напряжение при отсутствии источников подзаряда, получим практически неизменное предкоммутационное напряжение на конденсаторе во всех режимах АИН.

Полный коммутационный ток, как и в АИН без источников U_n , протекает в основных и коммутирующих тиристорах Т1, Т1.1, Т2 и т.д. Среднее значение тока тиристоров группы подзаряда (Т1, Т1.1, Т2 и т.д.):

$$I_{T,\Pi} = \frac{1}{T_s} \int_0^{\pi} I_{T,m} \sin \omega_{\Pi} t d\theta = \frac{2I_{T,m} f_s}{\omega_{\Pi}}$$

где $i_{\Pi} = (U_{\Pi} - U_{C,K}) \sqrt{\frac{C}{L+L_{\Pi}}} e^{-k_{\delta} \pi/2} \sin \omega_{\Pi} t$.

Среднее значение тока источника подзаряда

$$I_n = m I_{m,\Pi},$$

где $m = 3$ для трехфазного АИН.

Действующее значение тока источников подзаряда

$$I_{п,д} = I_{п,д} \sqrt{\frac{3\pi f_s}{2\omega_{п}}}.$$

Индуктивность реактора в контуре подзаряда определяется из условия

$$t_{п} \geq \frac{\pi}{\omega_{п}},$$

откуда

$$L_{п} \leq \frac{t_{п}^2}{\pi^2 C} - D.$$

Если принять $T_{п} = \frac{T_s}{6}$, то $L_{п} \leq 36\pi^2 f_{a,m}^2 C - L$.

Как отмечалось выше, при увеличении мощности АИН желательно так выполнить коммутирующие элементы, чтобы превышение амплитуды коммутационного тока над током нагрузки к моменту коммутации было минимальным. Так как время, предоставляемое тиристор для выключения, не может быть меньше допустимого значения, то это условие выполнимо только при несинусоидальной форме коммутационного тока для формирования прямоугольной формы коммутационного тока применяется нелинейный коммутирующий реактор. Он выполняется на магнитопроводе из материала с коэффициентом прямоугольности, близким к единице и кроме рабочей обмотки имеет обмотку управления (рисунок 3,а).

На рисунке 3,а показана только анодная группа одной фазы АИН с двухступенчатой коммутацией. В таком АИН коммутирующий реактор включен в цепь тока нагрузки. В обмотку управления от независимого источника подается ток управления i_y . Обычно обмотки управления реакторов анодной и катодной групп всех фаз АИН включаются последовательно [1].

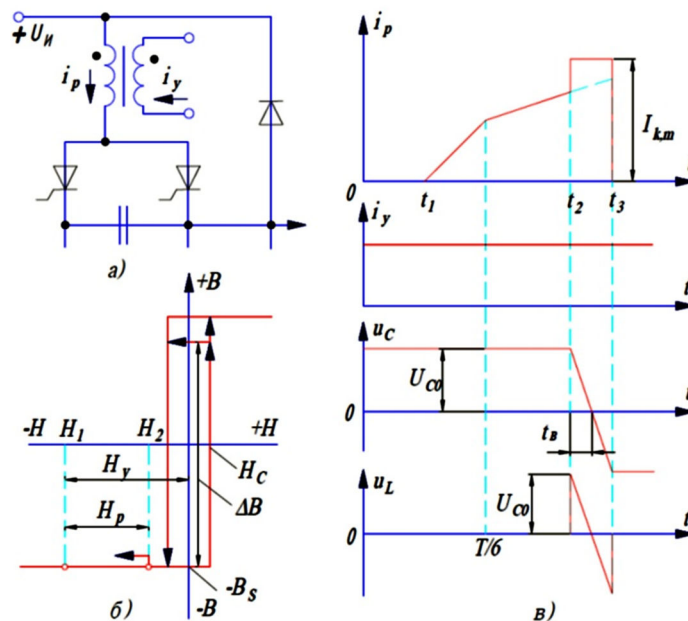


Рисунок 3 – Нелинейный коммутирующий реактор в АИН:

а – схема включения; б – диаграмма электромагнитного состояния; в – диаграмма токов и напряжений

Если ток в рабочей обмотке реактора равен нулю, $i_p = 0$, ($0 < t < t_1$ на рисунке 3,в), то магнитопровод насыщен $B = -B_s$, $H = H_1$, $= i_y \omega_y / i_\mu$ (рисунок 3,б). После открывания рабочего тиристора $i_p > 0$, $t > t_1$:

$$H = \frac{i_p \omega_p - i_y \omega_y}{i_\mu} \leq H_2,$$

но $i_p \omega_p > i_y \omega_y$ и до начала коммутации $H < 0$, $B = -B_s$.

При открывании коммутирующего тиристора напряжение конденсатора через диод обратного тока оказывается приложенным к рабочей обмотке реактора $U_c = U_L$. Начинается процесс перемагничивания магнитопровода, при котором $B = +\Delta B - B_s$ и

$$i_p \omega_p - i_y \omega_y \approx H_C I_\mu \approx 0,$$

т.е. $i_p \approx i_y \frac{\omega_y}{\omega_p} = \text{const.}$ Конденсатор перезаряжается постоянным током (интервал $t_2 < t < t_3$ на рисунке 3,в):

$$U_C = U_{C0} - i_y \frac{\omega_y t}{\omega_p C}. \quad (3)$$

Время, предоставляемое тиристорам для выключения, определится из (3) при $U_C = 0$:

$$t_B = \frac{U_{C0} C \omega_p}{i_y \omega_y}.$$

При $t > t_B$ напряжение на реакторе меняет знак, индукция начинает уменьшаться. При возвращении рабочей точки в точку, где $B = -B_s$ (рисунок 3,б), ток $i_p = 0$, коммутирующий тиристор закрывается, процесс коммутации заканчивается.

Из приведенных выше соображений очевидно, что правильный выбор схемного решения при проведении испытаний позволяет улучшать качество эксперимента.

Основные показатели качества это точность и минимум затрат. Точность повышается за счет улучшения коэффициента несинусоидальности токов и напряжений экспериментальных схем. Также наряду с вышеуказанным этот способ ведет к улучшению энергетических показателей, а именно к повышению $\cos \lambda$.

Введение дополнительных контуров, необходимых для улучшения коммутационных процессов, повышает динамическую устойчивость всего эксперимента.

Список литературы:

1. Аранчий Г.В., Жемеров Г.Г., Эпштейн И.И. Тиристорные преобразователи частоты для регулируемых электроприводов. – М. : Энергия, 1968. – 128 с.
2. Преобразователи частоты на основе автономных инверторов для электроприводов переменного тока / И.А. Акиншин [и др.]. – М. : Информэлектро, 1974. – 39 с.
3. Частотно-управляемый электропривод с высокоскоростным асинхронным двигателем / А.С. Сандлер [и др.] // Электротехника. – 1974. – № 8. – С. 52–55.
4. Ладенко Н.В., Гайтов Б.Х., Науменко В.А. Параллельная работа двухмерных электрических машин на общую нагрузку (статья) // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – № 2/70. – С. 74–76.
5. Ладенко Н.В., Нечесов В.Е. Двухфазное короткое замыкание в системах нетрадиционной энергетики (статья) // Технические и технологические системы : материалы IV международной научной конференции «ТТС-09». Сборник материалов. – Краснодар : филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2012. – С. 96–100.
6. Ладенко Н.В., Гайтова Т.Б. Вращающий момент двухмерной электрической машины-генератора // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 1/81. – С. 43–45.
7. Включение двухмерных машин на общую нагрузку (статья) / Н.В. Ладенко [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – № 1/87. – С. 71–74.
8. Ладенко Н.В., Дедикова Т.Г. Модель звена постоянного тока энергосистемы на базе ДЭМ с учетом внутреннего сопротивления вентиля // Технические и технологические системы : материалы V Международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 169–173.
9. Ладенко Н.В. Трехфазное короткое замыкание в системах нетрадиционной энергетики на базе дэм-г // В сборнике: Технические и технологические системы : материалы V Международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 174–177.
10. Задающие генераторы систем нетрадиционной энергетики на базе двухмерной электрической машины / Н.В. Ладенко [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2017. – № 3 (107). – С. 68–74.
11. Система автономного электроснабжения на базе двухмерных электрических машин / Н.В. Ладенко [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2017. – № 5 (109). – С. 53–57.

УДК 621.313.39

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЭМ ПО РОТОРУ

**Ладенко
Николай Васильевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин
lad-kolya@yandex.ru**Креминский
Богдан Олегович****Кубанский государственный технологический университет**
аспирант, старший преподаватель кафедры электротехники
и электрических машин
bogdankreminskii@mail.ru**Сурков
Александр Сергеевич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
kolipo333@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена необходимость включения согласующих элементов в системе управления ДЭМ-Г при суммировании потоков энергии. Предложен пример хеной реализации системы управления координатами двухмерной электрической машины-генератора по ротору. Рассмотрение предложенного варианта предоставляет возможность решить сложный вопрос управления координатами упомянутого электроаппаратного устройства. Приведен возможный вариант структурных схем при определенной серийной комплектации элементов.

Ключевые слова: двухмерная электрическая машина, автономный инвертор напряжения, регулирование координат, система управления, усилитель, узел суммирования.

В настоящее время все большую популярность приобретает подход суммирования двух и более потоков энергии в системах с возобновляемыми источниками.

Основными подходами являются применение электронных и электромашинных способов суммирования. К электромашинным относятся, наряду с прочими, электрическая двухмерная машина.

Основной сложностью в применении этого типа устройств является сложность в управлении координатами машин.

Одним из направлений, в плане управления, является управление по ротору. Этот метод реализуется путем подачи управляющих сигналов на трехфазную роторную обмотку, которая выполняет роль управляющей. С этой целью представляется возможным подача управляющих импульсов от автономных инверторов напряжения (АИН).

Электроприводы с частотным управлением на основе АИН в зависимости от технологических требований могут быть выполнены по различным структурным схемам. Приведенную здесь структурную схему электропривода (рис. 1) следует рассматривать только как пример системы, позволяющий проиллюстрировать аппаратное исполнение основных блоков, что, в свою очередь, не должно восприниматься как единственное и окончательное решение, так как реализация блоков системы зависит от состава серий выпускаемых интегральных микросхем, многообразие и степень интеграции которых непрерывно увеличиваются.

Приведенная на рисунке 1 система обеспечивает регулирование координат ДЭМ с заданными током ротора I_s и частотой тока ротора f_r . Аналоговый сигнал управления для каналов частоты и напряжения один и тот же – U_{y2} ; k_I – блок преобразования тока ротора I_s в аналоговый сигнал U_i ; k_ω – блок преобразования частоты вращения f_ω двигателя в сигнал U_ω ; k_f – задающий генератор схемы управления АИН. Частота выходных импульсов задающего генератора $f = 6f_s$. Блок пересчета БП содержит распределитель импульсов по шести каналам и логическую часть, формирующую необходимую форму импульсов; ВК – выходной каскад системы управления АИН.

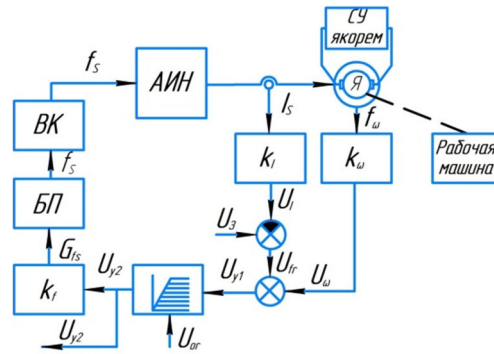


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления

На рисунке 2,а показан блок пересчета, предназначенный для управления АИИ, выполненным по схеме на рисунке 3 с источниками подзаряда. Для управления рабочими тиристорами необходима система импульсов длительностью $\theta = \pi/2$, тиристорами подзаряда – система «коротких» импульсов. Распределитель импульсов собран на шести D-триггерах (D1-D6) с начальной установкой логической единицы на прямом выходе триггера D1 и логических нулей на прямых выходах триггеров D2–D6. Диаграмма состояний элементов блока переключения приведена на рисунке 2,б.

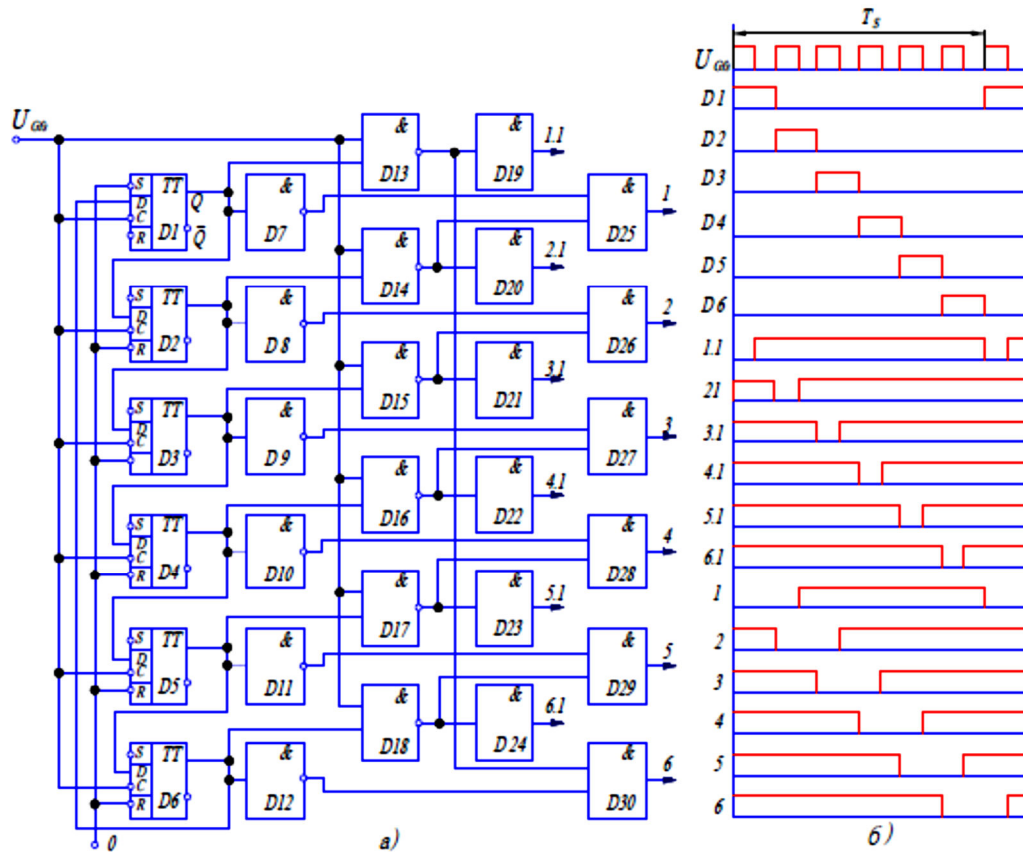


Рисунок 2 – Принципиальная схема блока пересчета:
а – схема; б – диагностика состояний

Переключение триггеров распределителя происходит при поступлении импульса от задающего генератора (положительные фронты напряжения $U_{s,i}$) на вход С. Длительность импульсов задающего генератора $\theta = \pi/6$. Выходные импульсы блока пересчета длительностью $\pi/2$ и $\pi/6$ получены с помощью элементов НЕ, И–НЕ, И. Конструктивно логическая часть блока переключения собрана на микросхемах серии К511; трех микросхемах К511ПУ2 (D7, D8, D13, D14 – один корпус; D9, D10, D15, D16 – второй; D11, D12, D17, D18 – третий) и шести микросхемах К511ЛИ1 (D19–D30).

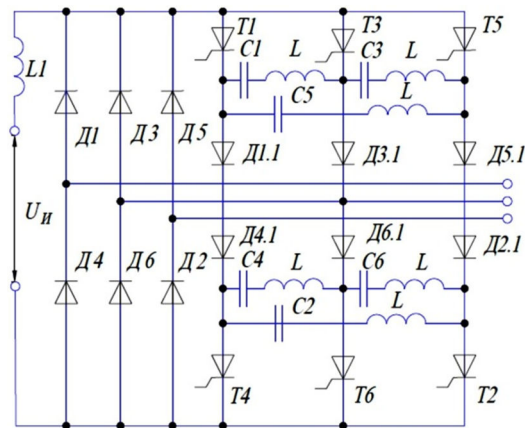


Рисунок 3 – АИН с LC-коммутирующими контурами

Выходные каскады системы управления АИН выполнены на тиристорных оптронах (рис. 4). Светодиод оптрона VO через токоограничивающий резистор подключен непосредственно к микросхеме K511ЛИ1 блока пересчета (показан пунктиром). Необходимо учитывать, что тиристор оптрона VO должен иметь статические и динамические параметры не хуже, чем у силового, которым он управляет.

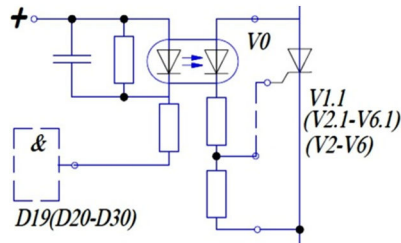


Рисунок 4 – Выходной каскад системы управления

Узел суммирования сигналов и регулируемый ограничитель собраны на одном операционном усилителе У1 (рис. 5). Сигнал U_3 определяет ток статора I_s и частоту тока ротора f_r в процессе пуска. Напряжение ограничения U_{or} пропорционально установившемуся значению напряжения управления U_{y2} , т.е. установившемуся значению f_s . В качестве усилителя У1 использовалась микросхема К1УТ402А или К1УТ531А.

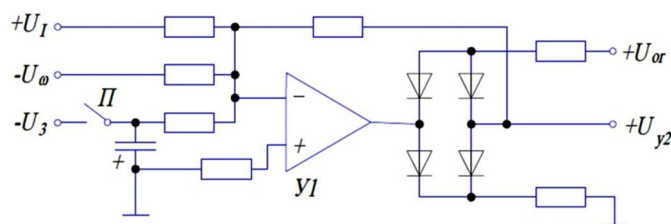


Рисунок 5 – Суммирующий усилитель с регулируемым ограничением



Рисунок 6 – Силовой блок экспериментальной установки

Результаты предложения в данной статье имели практическую реализацию. Испытания были проведены в КубГТУ на кафедре электротехники и электрических машин. Испытания полностью подтвердили схемные решения и представляют определенный интерес для дальнейших работ по управлению координатами ДЭМ.

Список литературы:

1. Ладенко Н.В., Князев Д.А. Применение САПР для расчета двухмерной электрической машины // Технические и технологические системы : материалы международной научной конференции «ТТС-09». Сборник материалов. – Краснодар : филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2009. – С. 58–61.
2. Ладенко Н.В., Ладенко А.В., Курашинов Т.А. Работа звена постоянного тока силового канала ДЭМ-Г // Технические и технологические системы : материалы II международной научной конференции «ТТС-09». Сборник материалов. – Краснодар : филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2010. – С.110–113.
3. Ладенко Н.В., Ладенко А.А., Ладенко А.В. Уравнение ударного аварийного тока в системе на базе ДЭМ-Г // Технические и технологические системы : материалы III международной научной конференции «ТТС-09». Сборник материалов. – Краснодар : филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2011. – С. 95–97.
4. Ладенко Н.В., Радченко К.А., Кожушко А.С. Классификация и причины перенапряжений в аксиальных электромеханических преобразователях энергии // Технические и технологические системы : Материалы III международной научной конференции «ТТС-09». Сборник материалов. – Краснодар : филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2011. – С.106–113.
5. Ладенко Н.В., Гайтов Б.Х., Науменко В.А. Моделирование звена постоянного тока двухмерной электрической машины-генератора // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – № 3/71. – С. 74–76.
6. Ладенко Н.В., Гайтов Б.Х., Науменко В.А. Параллельная работа двухмерных электрических машин на общую нагрузку // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – № 2/70. – С. 74–76.
7. Ладенко Н.В., Нечесов В.Е. Короткие замыкания в системах нетрадиционной энергетики // Технические и технологические системы : материалы IV международной научной конференции «ТТС-09». Сборник материалов. – Краснодар : филиал ВУНЦ ВВС «ВВА», 2012. – С. 90–95.
8. Ладенко Н.В., Гайтова Т.Б. Вращающий момент двухмерной электрической машины-генератора // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 1/81. – С. 43–45.
9. Включение двухмерных машин на общую нагрузку / Н.В. Ладенко [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – № 1/87. – С. 71–74.
10. Ладенко Н.В., Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Пахомов Р.А., Самородов А.В. Создание перспективных систем автономного энергоснабжения объектов на базе принципиально новых электромеханических преобразователей энергии повышенной надежности // Отчет о НИР № 13-08-96515/14 от 08.10.2014 (РФФИ и Администрация Краснодарского края).
11. Перспективные разработки для систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / Н.В. Ладенко [и др.] // Наука Кубани. – 2014. – № 4. – С. 39–44.

УДК 621.313-57

АНАЛИЗ ПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА СОИЗМЕРИМОЙ МОЩНОСТИ

**Оппаходжаев
Алишер Максудович**

Кубанский государственный технологический университет
старший преподаватель кафедры электроснабжения промышленных предприятий
alisher.o.m@gmail.com

**Ольшанская
Ирина Владимировна**

Севастопольский государственный университет
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры высшей математики

**Луценко
Алексей Сергеевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент

Аннотация. В связи с широким применением в нефтяной промышленности синхронных и асинхронных электродвигателей большой мощности возникла необходимость обеспечения их устойчивой работы при аварийных ситуациях в системе электроснабжения.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, генератор, система электроснабжения.

Согласно техническому заданию необходимо произвести расчеты последовательного пуска четырех электродвигателей котельной от дизель-генератора. Расчетная схема приведена на рисунке 1.

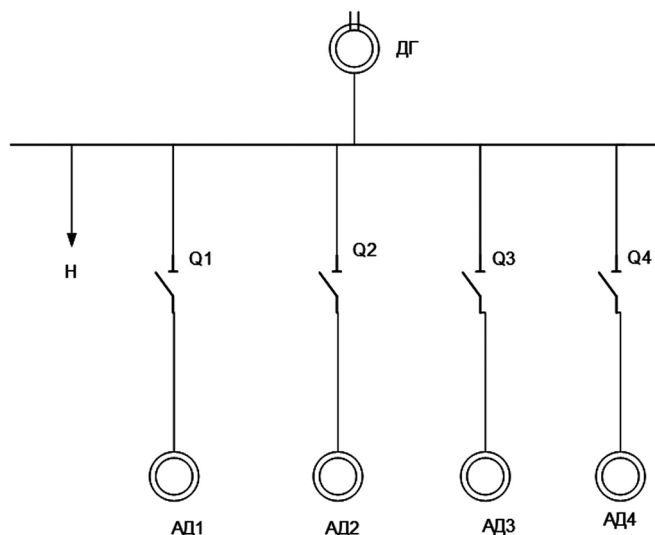


Рисунок 1 – Расчетная схема последовательного пуска электродвигателей котельной от дизель-генератора

Дизель-генератор типа 400DFEK фирмы STAMFORD, имеет следующие данные:

$$U_H = 380\text{В}; P_H = 400 \text{ кВт}; \cos\varphi_H = 0,8; S_H = 500\text{кВА}.$$

Дизель-генератор имеет систему автоматического регулирования возбуждения. Исходные данные были получены от заказчика в следующем виде:

- активное сопротивление статора при $t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$; $R_S = 0.005 \text{ Ом}$;
- продольное реактивное сопротивление $X_{d^*} = 3.02$;
- переходное продольное реактивное сопротивление $X'_{d^*} = 0.16$;

- сверхпереходное продольное реактивное сопротивление $X_{d^*} = 0.11$;
- поперечное реактивное сопротивление $X_{q^*} = 2.48$;
- сверхпереходное поперечное реактивное сопротивление $X_{q^*} = 0.27$;
- реактивное сопротивление рассеяния $X_l = 0.05$;
- реактивное сопротивление обратной последовательности $X_{2^*} = 0.19$;
- реактивное сопротивление нулевой последовательности $X_{0^*} = 0.1$.

Согласно техническому заданию принята следующая последовательность пуска электродвигателей от дизель-генератора:

- в режиме 1 запускается электродвигатель 22 кВт;
- в режиме 2 запускается электродвигатель 75 кВт;
- в режиме 3 запускается электродвигатель 22 кВт;
- в режиме 4 запускается электродвигатель 75 кВт.

В результате последовательного запуска остаются в работе 4 двигателя.

При расчетах также учитываются собственные нужды котельной мощностью около 10 кВт.

На основе исходных данных была составлена математическая модель схемы электроснабжения котельной и проведены расчеты указанных четырех режимов.

На рисунках 2, 3 приведены изменения величин напряжения и тока фазы «а» для дизель-генератора в четвертом режиме пуска электродвигателя 75 кВт.

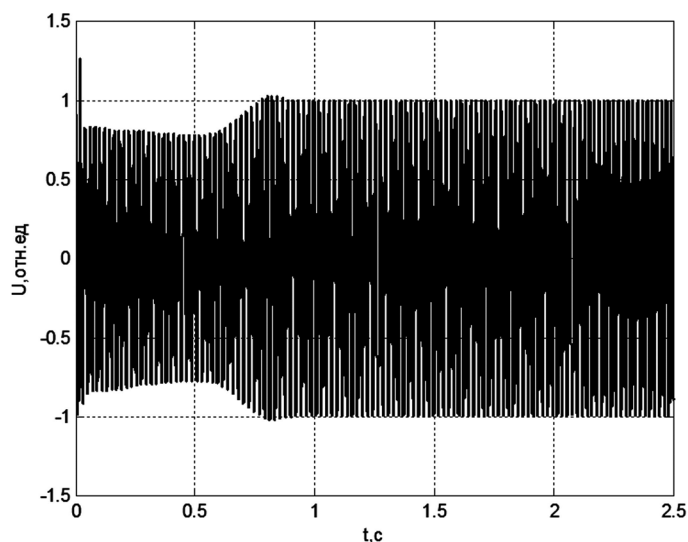


Рисунок 2 – Изменение напряжения дизель-генератора в 4 режиме при пуске электродвигателя

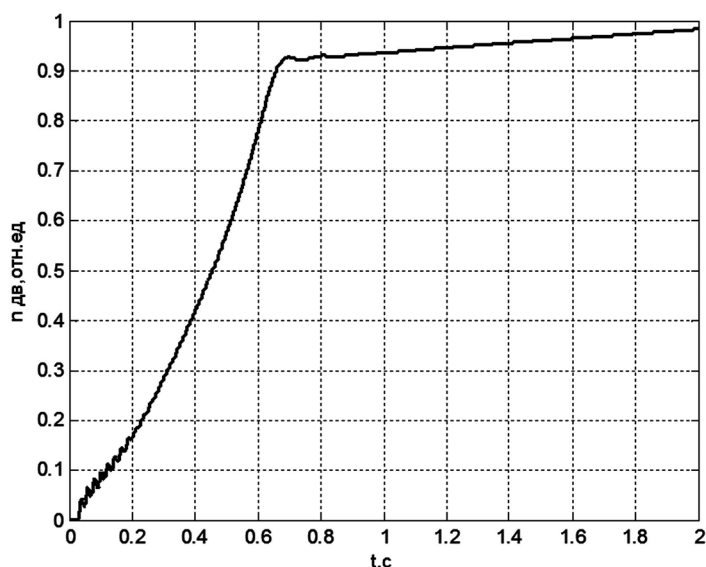


Рисунок 3 – Изменение скорости вращения двигателя 75 кВт при пуске в 4 режиме

Для наиболее тяжелого четвертого режима последовательного пуска электродвигателя 75 кВт напряжение у дизель-генератора снижается до 171,2 В ($0,778 U_{нз}$). В начале пуска суммарный ток дизель – генератора превышает номинальный в 1,2 раза и достигает около 912 А. Повышенный ток у генератора длится около 0,5 с. Переходный процесс завершается через 2,5 с.

В переходном процессе скорость вращения дизель – генератора уменьшается с 1500 об/мин до 1380 об/мин, т.е. на 8 %. Указанное снижение скорости вращения дизель – генератора приводит к уменьшению тока возбуждения от возбудителя и соответственно к дополнительному снижению напряжения. Указанное обстоятельство приводит к тому, что электродвигатель 75 кВт разгоняется в течение 1,0 с до 1362 об /мин, а затем длительно до разгоняется до 1472 об/мин в течение 1,5 с.

В результате анализа переходных процессов при последовательном пуске электродвигателей котельной от дизель-генератора можно сделать следующие выводы:

1. Последовательный пуск от дизель-генератора мощностью 400 кВт четырех двигателей мощностью 22 кВт и 75 кВт возможен.

2. Для исключения перегрузки необходимо осуществить при пусках следующие временные интервалы:

- перед пуском электродвигателя 75 кВт во втором режиме 1,5 с;
- перед пуском электродвигателя 22 кВт в третьем режиме 1,5 с;
- перед пуском электродвигателя 75 кВт в четвертом режиме 1,5 с;
- пуск последнего двигателя 75 кВт заканчивается через 2,5 с.

3. Полное время последовательного пуска достигает около 7 с.

4. При пуске последнего двигателя 75 кВт в начале происходит снижение напряжения до $0,778 U_{н}$ практически в течении около 1 с, что является допустимым.

5. При расчете уставок срабатывания защиты от перегрузки дизель – генератора следует выбрать выдержку времени более 0,5 с.

Список литературы:

1. Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Перспективы применения математических моделей систем электроснабжения в координатах обобщенного вектора // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 17 апреля 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 1. – С. 324–327.

2. Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Моделирование пуска двигателя серии 4АЗМ при пониженном напряжении сети в координатах обобщенного вектора // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 17 апреля 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 1. – С. 320–323.

3. Математическая модель многофазного измерительного преобразователя в матричном виде / Б.А. Коробейников [и др.] // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 17 апреля 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 1. – С. 336–339.

4. Korobeynikov B.A., Oppakhodzhaev A.M., Sidorov D.I. Vector Simulation of Deep-Bar Induction Motor // Journal of Physics: Conference Series, Vladivostok, 07–08 октября 2021 года. – Vladivostok, 2021. – P. 012100. – DOI : 10.1088/1742-6596/2096/1/012100.

5. Коробейников Б.А., Сидоров Д.И., Оппаходжаев А.М. Обобщенная математическая модель однофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем // Электроэнергетические комплексы и системы : Сборник научных статей. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2012. – С. 21–33.

6. Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Эксплуатация промежуточного измерительного преобразователя в режиме холостого хода // Referatotech : материалы Международной научно-практической конференции. В 3-х томах (Краснодар, 24 октября 2020 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – С. 78–82.

7. Математическое моделирование автотрансформатора в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2021. – № 4. – С. 137–145.

8. Математическое моделирование синхронного двигателя в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2021. – № 5. – С. 78–87.

9. Математическое моделирование трехобмоточного трансформатора в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 1. – С. 36–41.

10. Математическое моделирование статических элементов системы электропитания в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 1. – С. 42–49.

11. Захаров Г.А., Сидоров Д.И. Исследование влияния искажения входного сигнала тока на работу дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем // Технические и технологические системы : материалы седьмой международной научной конференции «ТТС-15», Краснодар, 07–09 октября 2015 года / ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – С. 117–120.

12. Патент № 2333562 С1 Российская Федерация, МПК H01F 30/14, H02M 5/14. Однофазный трансформатор с вращающимся магнитным полем : № 2007120825/09 : заявл. 04.06.2007 : опубл. 10.09.2008 / Б.А. Коробейников, Д.И. Сидоров ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет» (ГОУВПО «КубГТУ»).

13. Идентификация параметров математической модели регулятора возбуждения типа АС7В на основе данных численного эксперимента / О.И. Чанкаева [и др.] // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 23 октября 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 263–266.

14. Определение обобщенной корректирующей функции для группы асинхронных двигателей серии 4А3М / Б.А. Коробейников [и др.] // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 23 октября 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 31–34.

15. Моделирование электромагнитных процессов при пуске двигателя ДАЗО4 в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 23 октября 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 27–30.

16. Математическая модель многофазного измерительного преобразователя / Б.А. Коробейников [и др.] // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 17 апреля 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 331–335.

17. Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Векторное моделирование запуска двигателя нефтяного насоса // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. (Краснодар, 23 октября 2021 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 35–38.

УДК 621.31.004.18

МАТРИЧНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАТОРНОГО УСТРОЙСТВА С КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКОЙ

**Печенкин
Андрей Геннадьевич**

Кубанский государственный технологический университет
старший преподаватель кафедры электроснабжения
промышленных предприятий
andrph_66@mail.ru

**Ольшанская
Ирина Владимировна**

Севастопольский государственный университет
кандидат технических наук,
доцент кафедры высшей математики

**Обухов
Александр Викторович**

Кубанский государственный технологический университет
магистрант кафедры электроснабжения
промышленных предприятий

Аннотация. В статье представлена модель трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой (ТУ с КО) в матричном виде. Описан подход к формированию матриц на основе параметров ТУ с КО.

Ключевые слова: релейная защита, измерительный орган, трансформаторное устройство, короткозамкнутая обмотка, модель.

В статье представлена матричная модель многофазного трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой (ТУ с КО) применяемого в качестве преобразователя тока в измерительной части новой релейной защиты [1, 2]. Для исследования электротехнических задач применяют пакеты схемотехнического моделирования MATLAB Simulink, PSCAD которые обеспечивают довольно простое формирование схем компьютерных моделей, но в тоже время по отдельным электротехническим устройствам, таким как многообмоточное ТУ с КО, недостаточно полно отображают его физические свойства [3].

При создании модели многофазным выходом в различных режимах, предлагается описать его работу в матричном виде. Для исследования ТУ с КО при различных необходимо составить математическую модель, описывающую работу ТУ с КО, определить его активные сопротивления, собственные и взаимные индуктивности обмоток, а также сформировать элементы матриц [4].

При составлении уравнений ТУ с КО примем следующие допущения:

- емкостные токи и токи утечки в изоляции отсутствуют;
- влиянием вихревых токов пренебрегаем.

Схема соединений обмоток и последовательным включением первичных обмоток в общем виде с шестифазной системой вторичных обмоток приведена на рисунке 1.

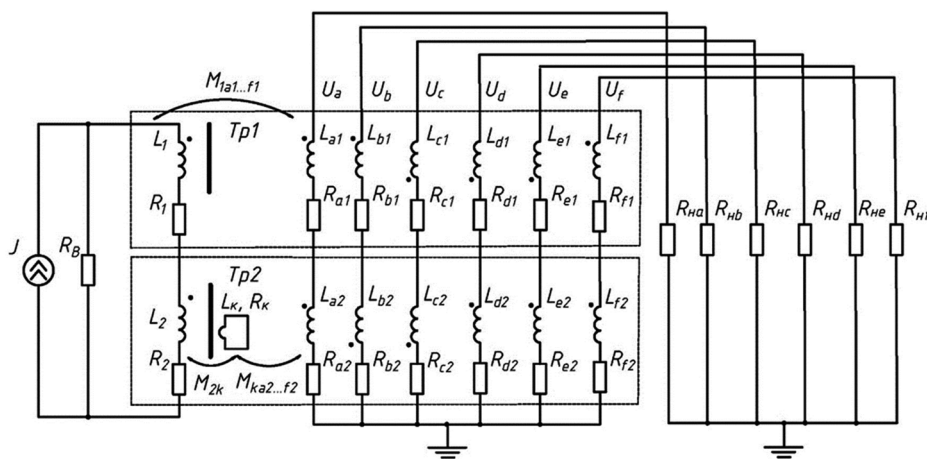


Рисунок 1 – Схема соединений ТУ с КО с шестифазной системой вторичных обмоток

При обозначении векторов и матриц первый индекс соответствует магнитопроводу трансформатора, а второй первичной или вторичной обмотке.

Для схемы ТУ с КО (рис. 1) можно записать следующие уравнения:

$$Jr_g = r_1 \cdot i + r_2 \cdot i + L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} - M_{2k} \frac{di_k}{dt} - M_{1,a1} \frac{di_a}{dt} - M_{1,b1} \frac{di_b}{dt} + M_{1,c1} \frac{di_c}{dt} + M_{1,d1} \frac{di_d}{dt} + M_{1,e1} \frac{di_e}{dt} - M_{1,f1} \frac{di_f}{dt} - M_{2,a2} \frac{di_a}{dt} + M_{2,b2} \frac{di_b}{dt} + M_{2,c2} \frac{di_c}{dt} + M_{2,d2} \frac{di_d}{dt} - M_{2,e2} \frac{di_e}{dt} - M_{2,f2} \frac{di_f}{dt}; \quad (2)$$

$$0 = r_k \cdot i_k + L_k \frac{di_k}{dt} - M_{k,2} \frac{di}{dt} + M_{k,a} \frac{di_a}{dt} - M_{k,b} \frac{di_b}{dt} - M_{k,c} \frac{di_c}{dt} + M_{k,d} \frac{di_d}{dt} + M_{k,e} \frac{di_e}{dt} + M_{k,f} \frac{di_f}{dt} \quad (3)$$

$$0 = i_a + i_b + i_c + i_d + i_e + i_f; \quad (4)$$

$$0 = r_{a1} \cdot i_a + r_{na} \cdot i_a + L_{a1} \frac{di_a}{dt} + L_{a2} \frac{di_a}{dt} - M_{k,a2} \frac{di_k}{dt} - M_{1,a1} \frac{di}{dt} - M_{2,a2} \frac{di}{dt} + M_{a1,b1} \frac{di_b}{dt} - M_{a1,c1} \frac{di_c}{dt} - M_{a1,d1} \frac{di_d}{dt} - M_{a1,e1} \frac{di_e}{dt} + M_{a1,f1} \frac{di_f}{dt} - M_{a2,b2} \frac{di_b}{dt} - M_{a2,c2} \frac{di_c}{dt} - M_{a2,d2} \frac{di_d}{dt} + M_{a2,f2} \frac{di_f}{dt} \quad (5)$$

$$0 = r_{b1} \cdot i_b + r_{b2} \cdot i_b + r_{nb} \cdot i_b + L_{b1} \frac{di_b}{dt} + L_{b2} \frac{di_b}{dt} - M_{k,b2} \frac{di_k}{dt} + M_{1,b1} \frac{di}{dt} + M_{2,b2} \frac{di}{dt} + M_{b1,a1} \frac{di_a}{dt} - M_{b1,c1} \frac{di_c}{dt} - M_{b1,d1} \frac{di_d}{dt} - M_{b1,e1} \frac{di_e}{dt} + M_{b1,f1} \frac{di_f}{dt} + M_{b2,a2} \frac{di_a}{dt} - M_{b2,c2} \frac{di_c}{dt} + M_{b2,d2} \frac{di_d}{dt} - M_{b2,e1} \frac{di_e}{dt} - M_{b2,f2} \frac{di_f}{dt} \quad (6)$$

$$0 = r_{c1} \cdot i_c + r_{c2} \cdot i_c + r_{nc} \cdot i_c + L_{c1} \frac{di_c}{dt} + L_{c2} \frac{di_c}{dt} - M_{k,c2} \frac{di_k}{dt} + M_{1,c1} \frac{di}{dt} + M_{2,c2} \frac{di}{dt} - M_{c1,a1} \frac{di_a}{dt} - M_{c1,b1} \frac{di_b}{dt} + M_{c1,d1} \frac{di_d}{dt} + M_{c1,e1} \frac{di_e}{dt} - M_{c1,f1} \frac{di_f}{dt} - M_{c2,a2} \frac{di_a}{dt} + M_{c2,b2} \frac{di_b}{dt} + M_{c2,d2} \frac{di_d}{dt} - M_{c2,e2} \frac{di_e}{dt} - M_{c2,f2} \frac{di_f}{dt} \quad (7)$$

$$0 = r_{d1} \cdot i_d + r_{d2} \cdot i_d + r_{nd} \cdot i_d + L_{d1} \frac{di_d}{dt} + L_{d2} \frac{di_d}{dt} - M_{k,d2} \frac{di_k}{dt} + M_{1,d1} \frac{di}{dt} + M_{2,d2} \frac{di}{dt} - M_{d1,a1} \frac{di_a}{dt} - M_{d1,b1} \frac{di_b}{dt} + M_{d1,c1} \frac{di_c}{dt} + M_{d1,e1} \frac{di_e}{dt} - M_{d1,f1} \frac{di_f}{dt} - M_{d2,a2} \frac{di_a}{dt} + M_{d2,b2} \frac{di_b}{dt} + M_{d2,c2} \frac{di_c}{dt} - M_{d2,e2} \frac{di_e}{dt} - M_{d2,f2} \frac{di_f}{dt} \quad (8)$$

$$0 = r_{e1} \cdot i_e + r_{e2} \cdot i_e + r_{ne} \cdot i_e + L_{e1} \frac{di_e}{dt} + L_{e2} \frac{di_e}{dt} + M_{k,e2} \frac{di_k}{dt} + M_{1,e1} \frac{di}{dt} - M_{2,e2} \frac{di}{dt} - M_{e1,a1} \frac{di_a}{dt} - M_{e1,b1} \frac{di_b}{dt} + M_{e1,c1} \frac{di_c}{dt} + M_{e1,d1} \frac{di_d}{dt} - M_{e1,f1} \frac{di_f}{dt} + M_{e2,a2} \frac{di_a}{dt} - M_{e2,b2} \frac{di_b}{dt} - M_{e2,c2} \frac{di_c}{dt} - M_{e2,d2} \frac{di_d}{dt} + M_{e2,f2} \frac{di_f}{dt} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
0 = & r_{f1} \cdot i_f + r_{f2} \cdot i_f + r_{nf} \cdot i_f + L_{f1} \frac{di_f}{dt} + L_{f2} \frac{di_f}{dt} + M_{k,f2} \frac{di_k}{dt} - M_{1,f1} \frac{di}{dt} - M_{2,f2} \frac{di}{dt} + \\
& + M_{f1,a1} \frac{di_a}{dt} + M_{f1,b1} \frac{di_b}{dt} - M_{f1,c1} \frac{di_c}{dt} - M_{f1,d1} \frac{di_d}{dt} - M_{f1,e1} \frac{di_e}{dt} + M_{f2,a2} \frac{di_a}{dt} - \\
& - M_{f2,b2} \frac{di_b}{dt} - M_{f2,c2} \frac{di_c}{dt} - M_{f2,d2} \frac{di_d}{dt} + M_{f2,e2} \frac{di_e}{dt}
\end{aligned} \quad (10)$$

где $J \cdot r_e$ – эквивалентное напряжение источника тока; r_e – эквивалентное сопротивление источника тока; $r_{na} - r_{nf}$ – активные сопротивления нагрузки; $r_a - r$ – активные сопротивления обмоток; $L_1, L_2, L_a - L_f$ – индуктивности обмоток трансформатора; M_{ij} – взаимные индуктивности обмоток.

Взаимные индуктивности M обмоток i и j определяются выражением $M_{ij} = k_{CB} \cdot k_{BK} \cdot \sqrt{L_i \cdot L_j}$, где k_{BK} – коэффициент учитывающий согласное или встречное включение обмоток, k_{CB} – коэффициент связи, учитывающий потоки рассеяния, L_i и L_j – собственные индуктивности i и j обмоток. Более подробно идентификация параметров первичных обмоток ТУ с КО представлена в [5, 6]. Определены параметры многофазной выходной обмотки и выполнен учет влияния коэффициента связи обмоток [7, 8].

С учетом равенств (2) – (4) и после группировки членов в выражениях (5) – (10) можно записать трансформаторное устройство уравнением в матричном виде:

$$U = R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

где $U = [J \cdot r_e \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ – матрица – столбец напряжений;

$I = [i \ i_k \ i_a \ i_b \ i_c \ i_d \ i_e \ i_f]^T$ – матрица – столбец токов;

$R = \text{diag} [r_1 + r_2 \ r_k \ r_{a1} + r_{a2} + r_{na} \ r_{b1} + r_{b2} + r_{nb} \ r_{c1} + r_{c2} + r_{nc} \ r_{d1} + r_{d2} + r_{nd} \ r_{e1} + r_{e2} + r_{ne} \ r_{f1} + r_{f2} + r_{nf}]$ – диагональная матрица активных сопротивлений;

$$L = \begin{bmatrix}
L_1 + L_2 & -M_{k,2} & -M_{1,a1} - M_{2,a2} & -M_{1,b1} + M_{2,b2} & M_{1,c1} + M_{2,c2} & M_{1,d1} + M_{2,d2} & M_{1,e1} - M_{2,e2} & -M_{1,f1} - M_{2,f2} \\
-M_{k,2} & L_k & M_{k,a2} & -M_{k,b2} & -M_{k,c2} & -M_{k,d2} & M_{k,e2} & M_{k,f2} \\
-M_{1,a1} - M_{2,a2} & M_{k,a2} & L_{a1} + L_{a2} & M_{b1,a1} - M_{b2,a2} & -M_{c1,a1} - M_{c2,a2} & -M_{d1,a1} - M_{d2,a2} & -M_{e1,a1} + M_{e2,a2} & M_{f1,a1} + M_{f2,a2} \\
-M_{1,b1} + M_{2,b2} & -M_{k,b2} & M_{b1,a1} - M_{b2,a2} & L_{b1} + L_{b2} & -M_{c1,b1} + M_{c2,b2} & -M_{d1,b1} + M_{d2,b2} & -M_{e1,b1} - M_{e2,b2} & M_{f1,b1} - M_{f2,b2} \\
M_{1,c1} + M_{2,c2} & -M_{k,c2} & -M_{c1,a1} - M_{c2,a2} & -M_{c1,b1} + M_{c2,b2} & L_{c1} + L_{c2} & M_{d1,c1} + M_{d2,c2} & M_{e1,c1} - M_{e2,c2} & -M_{f1,c1} + M_{f2,c2} \\
M_{1,d1} + M_{2,d2} & -M_{k,d2} & -M_{d1,a1} - M_{d2,a2} & -M_{d1,b1} + M_{d2,b2} & M_{d1,c1} + M_{d2,c2} & L_{d1} + L_{d2} & M_{e1,d1} - M_{e2,d2} & -M_{f1,d1} - M_{f2,d2} \\
M_{1,e1} - M_{2,e2} & M_{k,e2} & -M_{e1,a1} + M_{e2,a2} & -M_{e1,b1} - M_{e2,b2} & M_{e1,c1} - M_{e2,c2} & M_{e1,d1} - M_{e2,d2} & L_{e1} + L_{e2} & -M_{f1,e1} + M_{f2,e2} \\
-M_{1,f1} - M_{2,f2} & M_{k,f2} & M_{f1,a1} + M_{f2,a2} & M_{f1,b1} - M_{f2,b2} & -M_{f1,c1} + M_{f2,c2} & -M_{f1,d1} - M_{f2,d2} & -M_{f1,e1} + M_{f2,e2} & L_{f1} + L_{f2}
\end{bmatrix}$$

квадратная матрица собственных и взаимных индуктивностей.

Вывод: Полученная матричная модель ТУ с КО позволяет проводить экспериментальное исследование электромагнитных процессов в цепях релейной защиты и анализировать переходные процессы при различных режимах работы электрических сетей.

Список литературы:

1. Измерительный орган резервной дистанционной защиты на основе однофазно-многофазных преобразователей / Б.А. Коробейников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2018. – Т. 61. – № 5. – С. 55–60.
2. Дистанционная защита ЛЭП на основе многофазных трансформаторных преобразователей тока и напряжения / Г.А. Захаров [и др.] // Наука. Новое поколение. Успех : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной

75-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – С. 42–46.

3. Печенкин А.Г., Коробейников Б.А., Смаглиев А.М. Трансформаторное устройство с короткозамкнутой обмоткой для преобразования однофазного электрического сигнала в шестифазный. Патент на полезную модель 206352 U1, 07.09.2021. Заявка № 2021113008 от 04.05.2021.

4. Electromagnetic Converters with Short-Circuited Winding for Power Systems Protection / B.A. Korobeynikov [et al.] // Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference. – 2022. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/TD43745.2022.9816971.

5. Идентификация параметров многофазного преобразователя тока для релейной защиты электрических сетей / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 5. – С. 99–106.

6. Идентификация параметров многофазного преобразователя тока для устройств релейной защиты с учётом активных сопротивлений обмоток / Б.А. Коробейников [и др.] // Кибернетика энергетических систем. Сборник материалов XLI международной научно-технической конференции. – 2020. – С. 219–222.

7. Печенкин А.Г., Шкереда Э.Д. Анализ влияния коэффициента связи обмоток на параметры идентификации многофазного преобразователя с короткозамкнутой обмоткой // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 2. – С. 106–110.

8. Выбор параметров многофазной выходной обмотки однофазно-многофазного преобразователя с короткозамкнутой обмоткой / Б.А. Коробейников [и др.] // REFERATOTECH : материалы Международной научно-практической конференции : в 3 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – Т. 1. – С. 194–197.

УДК 628.1

**ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ
КОГЕНЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ****Сазонов К.В.**Кубанский государственный технологический университет
студент**Кочарян Е.В.**Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой теплоэнергетики и теплотехники

Аннотация. В данной работе рассмотрена методика расчёта режимов электрохимических энергоустановок с твёрдооксидным электролитом в условиях завода в г. Краснодар ООО «КЛААС» с целью рассмотрения возможности утилизации тепловой энергии выхлопа ТОТЭ для утилизации тепловой энергии.

Ключевые слова: электроэнергия, топливные элементы, тепловой расчет, утилизация тепловой энергии.

В последние годы проблема энергетического кризиса становится всё более актуальной, что является следствием социальных, экономических и технологических изменений в мире. Нехватка энергоресурсов влечёт за собой повышение стоимости энергоносителей и, как следствие, ставит перед мировым научным сообществом задачу, целью которой является поиск наиболее эффективных методов генерации энергии, как экономических, так и технических. С учётом последних международных тенденций, связанных с электрификацией многих отраслей, таких, как машиностроение, транспортные перевозки и многих других наблюдается рост потребления электроэнергии.

Одной из наиболее перспективных технологий генерации электроэнергии является применение топливных элементов, отрасль производства которых стремительно развивается последние годы. Топливные элементы делятся на пять основных типов, классифицированных по типу электролита:

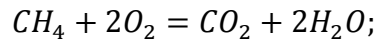
- 1) ЩТЭ – щелочной топливный элемент (AFC – Alkaline Fuel Cell);
- 2) ПЭМТЭ – топливный элемент с протонообменной мембраной (PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell), называемый также топливным элементом с полимерным электролитом (PEFC – polymeric membrane fuel cell) или твёрдополимерный топливный элемент (SPFC – solid polymer fuel cell);
- 3) ФКТЭ – топливный элемент с фосфорнокислотным электролитом (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell);
- 4) РКТЭ – топливный элемент с расплавленным карбонатным электролитом (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell);
- 5) ТОТЭ – твёрдооксидный топливный элемент (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell) [1].

Также существуют ТЭ на жидком топливе, которые считаются малоперспективными, об этом косвенно свидетельствует ежегодное сокращение производства этих устройств на фоне роста отрасли в целом.

Наибольшее применение в энергетической отрасли находят ТОТЭ, они надёжны, эффективны и имеют широкий спектр применяемых видов топлива. Для установок когенерационного типа данный тип ТЭ находит также широкое применение в силу высоких рабочих температур, что делает данный тип ТЭ наиболее эффективным.

Рассмотрим в качестве примера эффективности использования топливных элементов завод в г. Краснодар ООО «КЛААС». Сетевая электрическая мощность была взята, как наибольшее значение за 2021 г., которая составила 1,885 МВт. Расчет проведем в соответствии с методикой расчёта режимов электрохимических энергоустановок с твёрдооксидным электролитом» [2].

Материальный баланс реакций окислительно-восстановительных процессов определяется стехиометрическим (теоретическим) уравнением:



$$1 \text{ моль} + 2 \text{ моля} = 1 \text{ моль} + 2 \text{ моля};$$

1 объемная часть + 2 объемные части = 1 объемная часть + 2 объемные части;
16 массовых частей + 64 массовых частей = 44 массовых частей + 36 массовых частей.

$$1 \text{ м}^3 + 2 \text{ м}^3 = 1 \text{ м}^3 + 2 \text{ м}^3; 1 \text{ кг} + 4 \text{ кг} = 2,75 \text{ кг} + 2,25 \text{ кг}.$$

Это значит, что в результате реакции 1 м³ метана с 2 м³ кислорода на выходе ЭУ/ТЭ будет 1 м³ двуокиси углерода и 2 м³ паров воды, или в результате реакции 1 кг CH₄ с 4 кг O₂ – 2,75 кг CO₂ и 2,25 кг H₂O (в виде пара или жидкости). Поскольку в качестве окислителя используется не чистый кислород, а воздух с содержанием в нём по объёму 21 % кислорода, то следует определить количество воздуха, необходимого для нормального протекания указанного стехиометрического процесса:

$$V_B = \frac{V_{O_2}}{0,21},$$

где $V_B; V_{O_2}$ – объёмы воздуха и кислорода.

Для требуемой реакции на 1 м³ CH₄ нужно 2 м³ O₂, поэтому требуемый объём воздуха равен:

$$V_B = \frac{2}{0,21} = 9,524 \text{ м}^3.$$

При этом не участвующая в реакции часть воздуха (в основном из азота N₂) выглядит как:

$$V = 0,79V = (9,524 - 2) \text{ м}^3 = 7,524 \text{ м}^3 N_2 B.$$

Таким образом, на 1 м³ CH₄ на входе ЭУ/ТЭ продукты реакции на выходе составляют объём

$$V_{\Sigma} = V_{N_2} + V_{CO_2} + V_{H_2O(\text{пар})} = 7,524 + 1 + 2 = 10,524 \text{ м}^3.$$

Примем электрическую мощность ЭУ/ТЭ $P_{ТЭ(\text{эл})} = 1,885 \text{ МВт} = \text{const}$.

Возьмём электрический КПД в качестве минимального значения $\eta_{ТЭ(\text{эл})} = 50 \%$ для потенциальной модели ТЭ. В реальности коэффициент использования топлива в ЭУ/ТЭ может составлять 80...85 %, соответственно, на 15...20 % увеличатся продукты реакции. Чтобы исключить это из расчетов, примем общий КПД с учетом утилизации тепла (когенерационная схема) $\eta_{ТЭ\Sigma} = 70 \%$. При этом кроме 50 % электрической мощности полезно используются 20 % полной тепловой мощности топлива, а 30 % идут на нагрев элементов ЭУ/ТЭ и реагентов (секундную тепловую мощность) топлива (метана) на входе в ЭУ/ТЭ:

$$Q_{\text{ЭУ/ТЭ}} = \frac{P_{ТЭ(\text{эл})}}{\eta_{ТЭ(\text{эл})}} = \frac{1,885}{0,5} = 3,77 \text{ МВт};$$

Используемая полезная полная тепловая мощность топлива равна:

$$Q_{\text{полезн}\Sigma} = \frac{P_{ТЭ(\text{эл})}}{\eta_{ТЭ(\Sigma)}} = \frac{1,885}{0,7} = 2,69 \text{ МВт};$$

Необходимый объём газа (метана) в секунду по низшей теплоте сгорания Q_H составляет:

$$Q_{Г(CH_4)} = \frac{Q_{ЭУ}}{Q_H} = \frac{3,77 \text{ МДж/с}}{35,93 \text{ МДж/м}^3} = 0,10 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

Исходя из общего КПД определим тепловую мощность, развиваемую на выходе ЭУ/ТЭ при $\eta_{ТЭ(эл)} = 0,5$:

$$Q_{\text{тепл}(ТЭ)} = \frac{P_{ТЭ(эл)}}{\eta_{ТЭ(эл)}} (\eta_{ТЭ(г)} - \eta_{ТЭ(эл)}) = \frac{1,885}{0,5} (0,7 - 0,5) = 0,745 \text{ МВт.}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что при обеспечении электроэнергией оборудования ООО «КЛААС» дополнительно получим в качестве вторичного энергетического ресурса тепловую энергию в размере 0,754 МВт. Полученную тепловую энергию можно направить для обеспечения нужд ГВС, теплоснабжения или же систем холодоснабжения с применением абсорбционных холодильных машин завода.

Список литературы:

1. Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технологии, рынки / С.И. Бредихин [и др.]. – М. : НТФ «Энергопрогресс», Корпорации «ЕЭЭК», 2016. – 392 с.
2. Цгоев Р.С. Методика расчёта режимов электрохимических энергоустановок с твёрдооксидным электролитом // Вестник МЭИ. – 2020. – № 4. – С. 42–48. – DOI: 10.24160/1993-6982-2020-4-42-48.

УДК 621.313

**РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ****Самородов
Александр Валерьевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин
alex.samorodoff@gmail.com**Ким
Владислав
Анатольевич****Кубанский государственный технологический университет**
ассистент кафедры электротехники и электрических машин
vladk-kub@mail.ru**Колбасин
Сергей Игоревич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
kolbasinserega@yandex.ru**Мараховский
Евгений
Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
zheka3334@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены регулировочные характеристики двигателя с короткозамкнутым ротором электропривода сепаратора. Проведен анализ полученных зависимостей пускового электромагнитного момента и скорости ротора от питающего напряжения, а также электромагнитного момента от момента сопротивления, создаваемого сепарируемыми продуктами разной плотности.

Ключевые слова: двигатель с короткозамкнутым ротором, регулировочные характеристики, электромагнитный момент, скорость ротора, сепарируемый продукт.

При выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на кафедре электротехники и электрических машин по переоборудованию моторного цеха автотранспортного предприятия был проведён вычислительный эксперимент, в результате которого были, в частности, получены регулировочные характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором электропривода сепаратора [1, 2]. Данный электропривод используется в моторных цехах для очистки моторного масла от механических и химических примесей, а также воды [3, 4].

Полученные регулировочные характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором электропривода сепаратора представлены на рисунках 1–3. На рисунке 1 представлены графики зависимости пускового электромагнитного момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от амплитуды питающего напряжения при различных значениях частоты питающего напряжения. На рисунке 2 представлены графики зависимости установившейся скорости вращения ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от амплитуды питающего напряжения при различных значениях частоты питающего напряжения. На рисунке 3 представлены графики зависимости значений электромагнитного момента асинхронного двигателя от момента сопротивления, создаваемого сепарируемыми продуктами с различными плотностями.

Проанализировав полученные характеристики, можно сделать следующие выводы:

– по графику, приведенному на рисунке 1, видно, что величина пускового электромагнитного момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором возрастает при увеличении величины амплитуды питающего напряжения. Это подтверждает представленную в [5] зависимость $M \equiv U^2$;

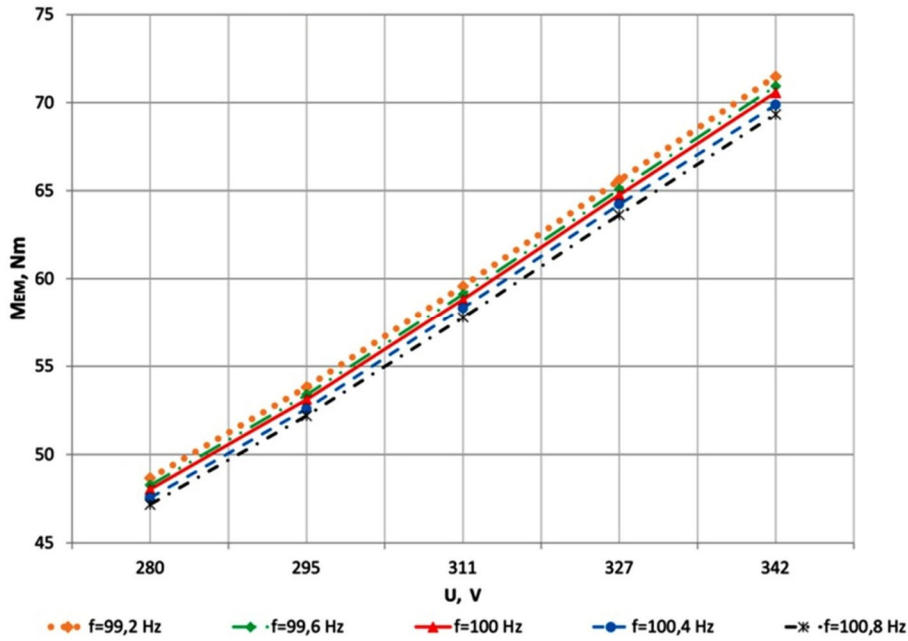


Рисунок 1 – График зависимости пускового электромагнитного момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от частоты и амплитуды питающего напряжения $M_{EM} = f(f, U)$

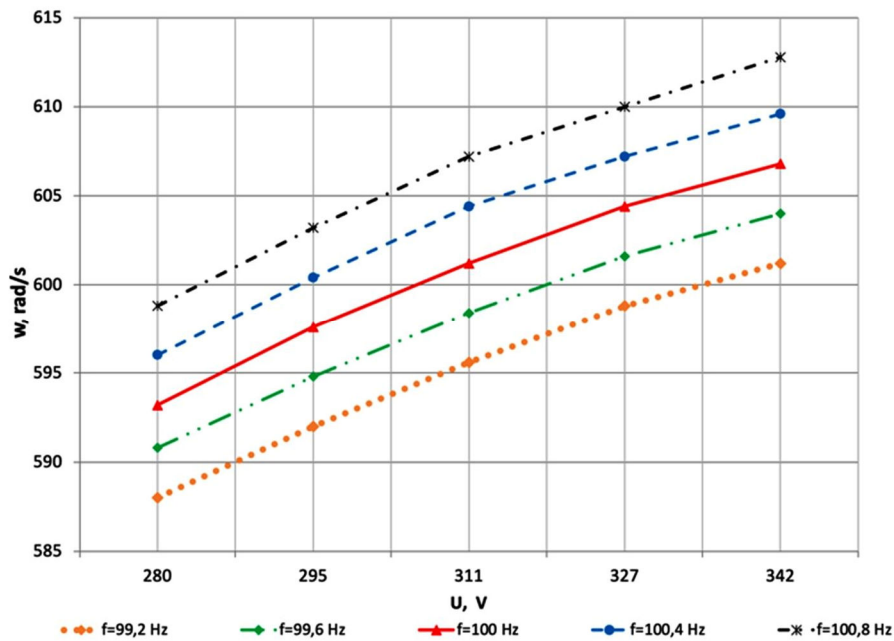


Рисунок 2 – График зависимости скорости вращения ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от частоты и амплитуды питающего напряжения $w = f(f, U)$

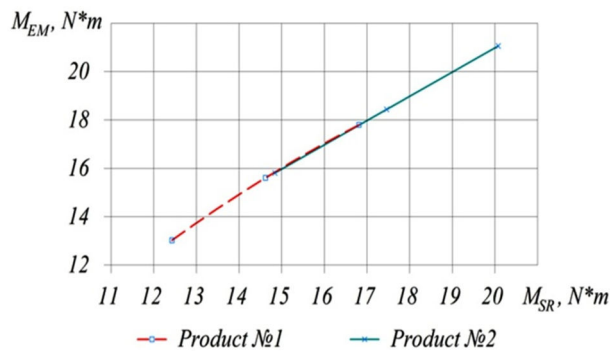


Рисунок 3 – График зависимости электромагнитного момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от момента сопротивления, создаваемого сепарируемыми продуктами

– по графику, приведенному на рисунке 2, видно, что скорость вращения ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором возрастает при увеличении величины амплитуды питающего напряжения. Это подтверждает представленную в [6, 7] зависимость $\omega \equiv U$ (при постоянном моменте сопротивления на валу – M_{SR}).

На основании результатов работы представляется целесообразным продолжать исследования и совершенствования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, и построения на его базе электропривода с улучшенными показателями ресурсо- и энергосбережения. Полученные регулировочные характеристики позволяют разработать алгоритмы регулирования параметров входного напряжения.

Список литературы:

1. Математическая модель двигателя совмещенной конструкции электропривода сепаратора / Я.М. Кашин [и др.] // Электротехнические системы и комплексы [Electrotechnical Systems and Complexes]. – 2021. – № 2(51). – С. 30–38. – URL : [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2\(51\)-30-38](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2(51)-30-38).
2. Пат. 2 706 320 Российская Федерация, МПК7 В04В 9/02, В04В 9/00, В04В 9/04, В04В 15/00. Сепаратор для полидисперсных жидких систем / Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Ким В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – № 2019111177; заявл. 12.04.19; опубл. 15.11.19, Бюл. № 32.
3. Kopelevich L.E., Kim V.A., Avtaykin I.N. Analysis of the Impact of Electric Power Quality on the Operation of a Combined-Design Separator // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – 2020. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271272.
4. Kim V.A., Kashin Y.M., Kopelevich L.E. Characteristics of combined motor of separator drive // Journal of Physics: Conference Series, Vladivostok, 07–08 октября 2021 года. – Vladivostok, 2021. – P. 012094. – DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012094.
5. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Ч. 2. Машины переменного тока. – М. : Энергия, 1965. – 704 с.
6. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М. : Высш. шк., 2001.
7. Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами. – М.–Л. : Энергия, 1966.

УДК 621.311

ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА г. КРАСНОДАРА**Самородов
Александр Валерьевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
alex.samorodoff@gmail.com**Жилин
Ярослав Игоревич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
aroslavl1905@mail.ru**Горайнов
Владимир
Владимирович****Кубанский государственный технологический университет**
студент
vgor98@gmail.ru

Аннотация. Развитие автомобильной промышленности играет большую роль в экономическом развитии стран. Именно поэтому многие страны мира тратят большие силы и средства для улучшения инфраструктуры для электромобилей. В статье авторы пытаются показать, как инновационный продукт, а именно зарядные станции для электромобилей развиваются на территории г. Краснодара.

Ключевые слова: электромобили, технологии электротранспорта, транспортные средства, инфраструктура, зарядные станции.

В настоящее время во всем мире на дорогах используется более двух миллионов электромобилей, и в ближайшие пять лет ожидается их увеличение, так как данное направление является инновацией рынка. С ростом их количества возникает потребность в адаптации инфраструктуры, в том числе и в нашей стране. Постепенный переход на энергию связан с тем, что в настоящее время из-за относительной нехватки ресурсов, топливо невозможно рассматривать, как ресурс будущего для транспорта.

На сегодняшний день проектом развития электромобильной инфраструктуры в г. Краснодар выступает АО «НЭСК». Сеть электрочарядных станций на Кубани расширяется с каждым днем. К 12 октября в регионе установлена 51 зарядная станция. Всего к концу 2022 года в городах Краснодарского края появится 85 станций.

В настоящее время в Краснодаре уже стоят 23 станции, Анапе – 11, Геленджике и Туапсе – по 5, Новороссийске – 7. При этом не все установленные станции запущены. Некоторые работают в тестовом режиме.

Станции, которые устанавливает компания «НЭСК», разработаны по эксклюзивному проекту на пермском заводе Корпорации ПСС. В производстве используется только 20 % импортных деталей, остальные отечественные. Станции имеют три коннектора, позволяющие заряжать европейские, китайские и японские автомобили, согласно ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013. Из одного модуля выходят три разных «пистолета»:

- разъем CHAdeMO;
- разъем GB/T;
- разъем CCS Combo 2.

Для зарядки водителю понадобится примерно 30–40 минут в зависимости от модели и состояния батареи. Для контроля процесса зарядки в корпус встроен монитор.

Места расположения ЭЗС выбраны для удобства использования их автомобилями. Расположение выбрано рядом с детскими площадками, парками, торговыми центрами и другими местами отдыха. Следующим аспектом в выборе места установки стала оценка точки на предмет возможности подключения и технологического присоединения к сетям. И уже после этого производился объезд каждой точки на предмет их

соответствия правилам размещения, на предмет наличия как минимум двух парковочных мест.

Электрозарядные станции, устанавливаемые компанией АО «НЭСК», достаточно мощные. Установленная мощность у них порядка 150–240 кВт.

Технологическое присоединение осуществляется к трансформаторным подстанциям. Питание подводится с помощью кабельных или кабельно-воздушных линий электропередач.

Технические характеристики электрозарядных станций указаны в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Выходные параметры в режиме работы Mode 4 (DC – постоянный ток)

Выходные параметры	Значения
Максимальная выходная мощность	240 кВт
Максимальное выходное постоянное напряжение	1000 В
Максимальный выходной ток	780 А

Таблица 2 – Выходные параметры в режиме работы Mode 3 (AC – переменный ток)

Выходные параметры	Значения
Количество фаз	1/3
Максимальная выходная мощность	7,4/22 кВт
Номинальное напряжение	220/380 В
Номинальный ток	32 А

Электрозарядные станции позволяют заряжать электромобили двумя режимами. Медленный режим зарядки Mode 3 обеспечивает зарядку на переменном токе. Для этого станция подает переменный ток, а встроенный в электромобиль выпрямитель преобразует его в постоянный ток зарядки. Величина тока в данном случае не более 32 А. Для быстрой зарядки используется постоянный ток, что соответствует режиму Mode 4. В данном случае зарядный ток составляет 780 А.

В 2021 году в России утвердили концепцию развития производства и использования электрического автотранспорта до 2030 года [4]. Наш край вошёл в число пилотных регионов, на территории которых сейчас реализуют первый этап. До конца сентября НЭСК планирует смонтировать еще 15 электрозаправочных станций в краевом центре, а далее начать их ввод в эксплуатацию. Всего компания установит 55 зарядных станций в Краснодаре, Геленджике, Туапсе, Новороссийске и Анапе.

Список литературы:

1. ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013. Система токопроводящей зарядки электромобилей.
2. НЭСК [Электронный ресурс] Электрон. текстовые дан. – URL : https://www.nesk.ru/novosti/devyat_elektrozaryadnykh_stantsiy_ustanovleny_ao_nesk_v_krasnodare/
3. АО «ППМТС «Пермснабсбыт». Зарядные станции для электромобилей. Каталог оборудования.
4. Распоряжение Правительства РФ от 23.08.2021 № 2290-Р «Об утверждении концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года».

УДК 621.311

**АНАЛИЗ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБМОТКИ
СТАТОРА АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА****Соболь
Александр Николаевич****Кубанский государственный аграрный университет
имени И.Т. Трубилина**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники,
теплотехники и возобновляемых источников энергии
asob2010@mail.ru**Андреева
Ангелина
Александровна****Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина**
магистрант кафедры электротехники, теплотехники
и возобновляемых источников энергии
ya.angelinaandreeva@yandex.ru**Федорец
Анастасия Витальевна****Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина**
учащаяся бакалавриата факультета энергетики
anastasiafedorec@yandex.ru

Аннотация. Приводятся опытные данные по следованию неисправностей в статорной обмотке автономного асинхронного генератора. Приведены зависимости основных характеристик асинхронного генератора от количества замкнутых витков в обмотке статора.

Ключевые слова: обмотка статора; асинхронный генератор; неисправность, витки.

Принцип действия автономного асинхронного генератора основан на использовании вращающегося магнитного поля в воздушном зазоре между статором и ротором для взаимодействия с наведенным током в обмотке ротора [5].

Его преимущества, следующие: простая конструкция, удобство в изготовлении, простота в использовании и обслуживании, надежность работы, относительно не большая стоимость. Данный тип генераторов переменного тока отличается более высоким коэффициентом полезного действия, а также более высокими рабочими характеристиками, чем другие генераторы, которые могут удовлетворить требования к большинству машин промышленного и сельскохозяйственного производства [4].

Ремонт обмоток электродвигателей и генераторов составляет порядка 32 % всех ремонтов машин переменного тока. Эти отказы обмотки делятся на четыре основные категории в зависимости от того, что их вызывает: тепловое напряжение, механическое напряжение, электрическое напряжение и воздействие окружающей среды.

Значение температуры играет важную роль в отказе машины. Фактически, исследования показывают, что срок службы электрической машины обратно пропорционален температуре. Это означает, что чем горячее работает машина, тем быстрее она выйдет из строя. На самом деле ожидаемый срок службы изоляции на обмотках удваивается на каждые 10 °С.

Колебания напряжения также могут привести к повышению температуры обмотки. Они возникают, когда машина подвергается воздействию повышенного или пониженного напряжения. Другой проблемой является дисбаланс напряжения, когда напряжение питания не равно. Это приводит к неуравновешенным токам в обмотке, что может привести к повышению температуры обмотки.

Другой проблемой является частичный разряд в результате наличия воздушной пробки в изоляции или загрязнения ее поверхности. Эти частичные разряды повреждают обмотки, со временем разрушая изоляцию.

В процессе эксплуатации асинхронных генераторов, как и любых электрических машин, неизбежно происходят различные процессы, связанные со старением статорной обмотки [2]. Также обмотка подвергается различными вредными воздействиями,

такими как высокая температура, механические воздействия, повышенная влажность и др. Такие негативные влияния приводят к нарушению изоляции между витками обмотки [2]. Также имеет место образование различного вида трещин, отслоения эмали обмотки. Все это приводит к уменьшению электрической прочности в целом.

В результате повреждения статорной обмотки генератора в ней могут возникать межвитковые и межфазные короткие замыкания (КЗ). При этом было установлено, что если замкнуто небольшое (3–5 %) витков, то работа генератора продолжается и он не теряет возбуждения. Это в итоге приведет к выходу его из строя и нарушению работы комплекса электроснабжения в целом. Также велика вероятность возникновения пожара из-за возгорания обмотки [1].

В целях имитации данных коротких замыканий нами был сделан опытная установка с асинхронным генератором, подробно описанная в [1]. Таким образом, имелась возможность создавать различные комбинации витковых и фазных коротких замыканий. Нами исследовались процессы в асинхронном генераторе, имеющем простую однослойную концентрическую обмотку статора [3].

В зависимости от вида электроустановок с асинхронным генератором его привод может быть различным. Например, в ветроустановке используется привод, не обладающий жесткой характеристикой вращающего момента. Для реализации этих различий в исследованиях нами использовались два типа приводов. В качестве привода с «жесткой характеристикой» (частота вращения вала имеет постоянное значение) использовался привод на базе асинхронного электродвигателя (АД). Также был использован привод на базе двигателя постоянного тока, имеющего «не жесткую» характеристику (частота вращения вала изменяется). В последнем случае поддерживалось постоянное напряжение 220 В. Возбуждение нашего асинхронного генератора происходило от батареи конденсаторов, которые соединены по схеме треугольник.

Были сделаны искусственные витковые КЗ в одной или в нескольких фазах статорной обмотки асинхронного генератора. При этом производились замеры токов I_A , I_B , I_C фаз А, В, С соответственно, токов в нагрузке генератора $I_{нзА}$, $I_{нзВ}$, $I_{нзС}$, а также величины тока в короткозамкнутой части обмотки статора генератора.

Полученные в экспериментах данные приведены на рисунке 1.

На нем показаны зависимости фазных токов I_{A1} , I_{B1} , I_{C1} и напряжений U_{A1} , U_{B1} , U_{C1} (привод от двигателя постоянного тока), а также I_{A2} , I_{B2} , I_{C2} и U_{A2} , U_{B2} , U_{C2} (привод от асинхронного электродвигателя) генератора от количества короткозамкнутых витков в его статорной обмотке по отношению к общему количеству витков в обмотке (W). Там же представлены зависимости емкостных токов, числа оборотов генератора и частота тока.

Величины генератора в случае привода от асинхронного двигателя имеют в обозначении цифру «1», а в случае привода от двигателя постоянного тока – «2». По результатам исследования выяснилось, что с увеличением количества короткозамкнутых витков происходит уменьшение фазных токов генератора. Соответствующие ниспадающие кривые представлены на рисунке 1. Аналогичный характер имеют емкостные токи, также представленные на рисунке 1.

Также из рисунка можно увидеть, что в случае привода генератора от асинхронного электродвигателя частота тока и число оборотов практически не изменяются. Соответствующие зависимости представляют собой прямые линии, параллельные оси абсцисс. Однако, если мы имеем привод асинхронного генератора от двигателя постоянного тока частота тока уменьшается на 1–2 Гц с увеличением количества замкнувшихся витков. Уменьшение наблюдается уже при 10–15 % короткозамкнутых витков в обмотке.

На рисунке 2 представлены соответствующие кривые токов, в короткозамкнутом контуре статорной обмотки генератора. Ток этот в несколько раз превышает номинальное значение. Наибольшее значение тока короткого замыкания наблюдается при 3 % замкнувшихся витков и превышает номинальный в 5–7 раз. С увеличением количества замкнувшихся витков до 25–35 % происходит потеря генератором возбуждения, и он прекращает свою работу.

С учетом всего изложенного можно сделать вывод, что асинхронный генератор, работающий с коротко замкнутыми витками в обмотке статора, снижает общие показатели надежности системы электроснабжения. Нами получены основные зависимости параметров генератора от числа замкнутых витков. Анализ данных, полученных в ходе эксперимента, можно применить в построении соответствующих защитных устройств генератора.

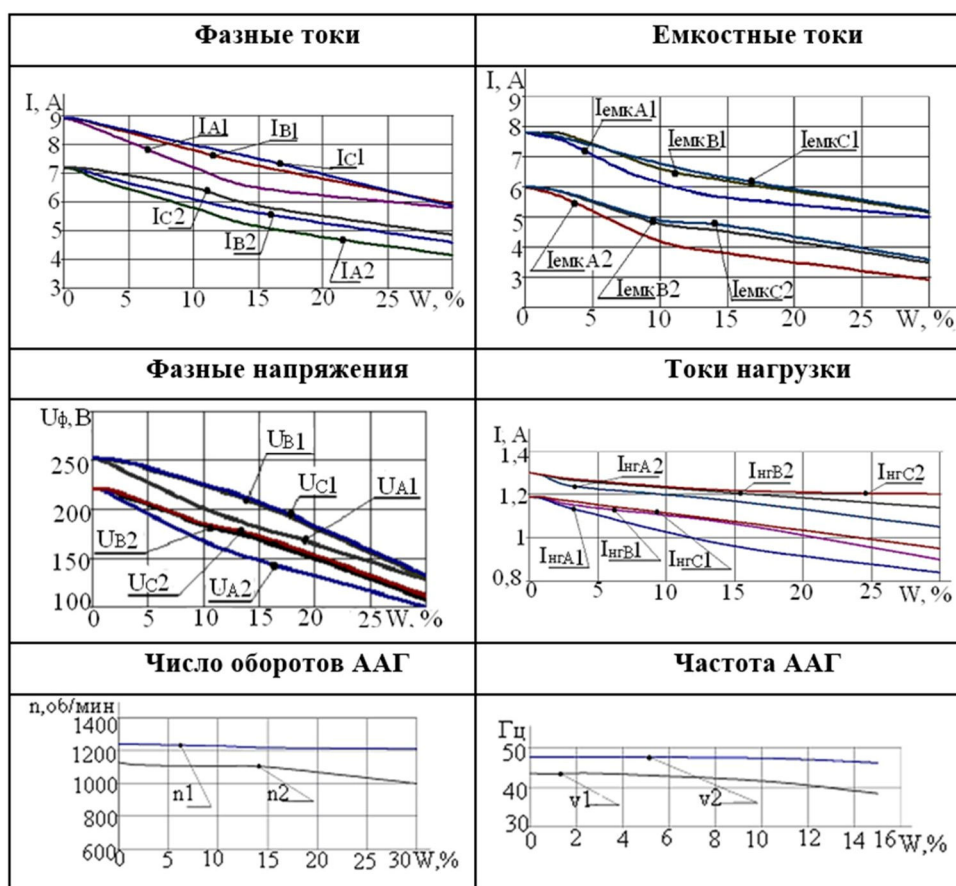


Рисунок 1 – Информационные характеристики повреждений ААГ

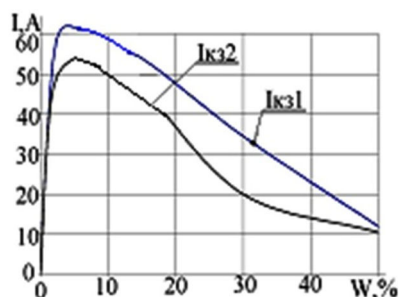


Рисунок 2 – Токи в короткозамкнутой обмотке

Список литературы:

1. Богдан А.В., Соболев А.Н. Диагностика повреждений обмотки статора автономного асинхронного генератора // Известия вузов. Электромеханика. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, 2013. – № 1. – С. 70–71.
2. Богдан А.В., Соболев А.Н. Информационные признаки повреждения обмотки статора для построения релейной защиты автономного асинхронного генератора // Известия вузов. Электромеханика. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, 2017. – № 6. – С. 72–76.
3. Богдан А.В., Соболев А.Н., Баракин Н.С. Обнаружение виткового замыкания в обмотке статора асинхронного генератора // Сельский механизатор – М. : ООО «Нива», 2018. – № 7–8. – С. 44–45.
4. Григораш, О.В. Асинхронные генераторы в системах автономного электроснабжения // Электротехника. – 2002. – № 1. – С. 30–34.
5. Торопцев Н. Д. Области применения асинхронных генераторов // Энергетик. – 2004. – № 3. – С. 31–34.

УДК 621.3.077.4

**АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ
МОДУЛЬНОГО МАЛОВЕНТИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ****Старостина
Ярослава
Константиновна****Ульяновский государственный технический университет**
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Электропривод и АПУ»
yaroslava.starostina@bk.ru

Аннотация. В статье приводится обоснование применения широтно-импульсной модуляции только части сетевого напряжения, при регулировании асинхронного электропривода, для сохранения энергетических показателей на высоком уровне, а также для повышения надёжности и перегрузочной способности импульсного регулятора, представляющего собой коммутационное устройство на базе единственного силового транзистора.

Ключевые слова: нормы качества, широтно-импульсная модуляция, транзисторный ключ, спектральный анализ.

Все технологические процессы, связанные с производством, преобразованием, распределением и потреблением электрической энергии, по той или иной специфике приводят к искажениям в синусоидальных формах токов и напряжений. Основной причиной этих искажений являются полупроводниковые устройства – вентильные преобразователи. Гармоническая составляющая (гармоника) – это синусоидальная часть, период которой равен периоду несинусоидальной периодической величины. Первая гармоника называется основной, а остальные – со второй по n -ую называют высшими гармониками [1, 2].

В соответствии с ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», гармонические синусоидальные составляющие напряжения возникают из-за наличия в электрических сетях различного номинала напряжения нелинейных нагрузок потребителей электрической энергии [3].

В данной статье приведен анализ гармонического состава выходного напряжения модульного маловентильного устройства регулирования напряжения статорных обмоток асинхронного двигателя, представленного на рисунке 1, при широтно-импульсном регулировании на высокой частоте (1 кГц) переключений.

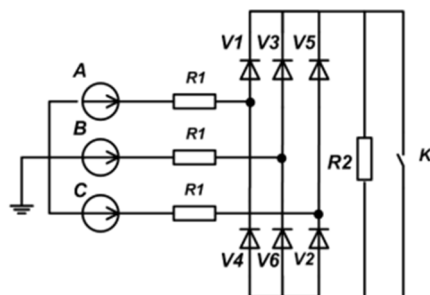


Рисунок 1 – Структурная схема модульного маловентильного устройства регулирования.

Количество переключений на полупериоде сетевого напряжения выбрано 24, а количество переключений на полном периоде сетевого напряжения – 48. На рисунке 2 представлены графики напряжения управления коммутационным транзисторным ключом и результирующего выходного напряжения маловентильного устройства регулирования.

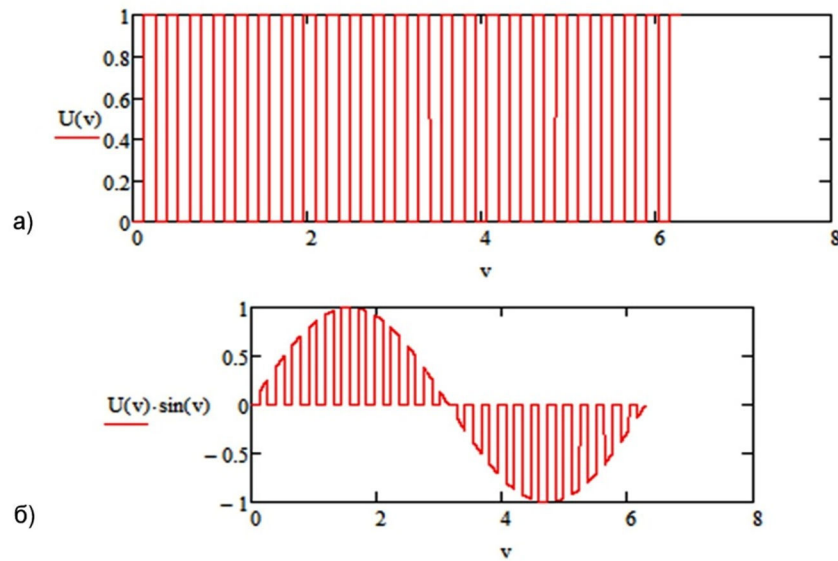


Рисунок 2 – График управляющего напряжения для транзистора (а) и график результирующего выходного напряжения маловентильного устройства регулирования (б)

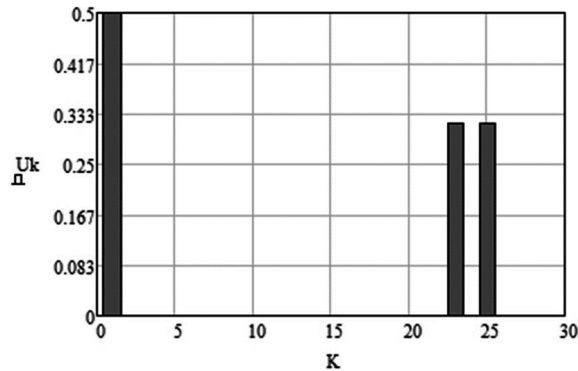


Рисунок 3 – Спектральный анализ выходного напряжения

Спектральный анализ выходного напряжения, показанный на рисунке 3, свидетельствует о наличии 23 и 25 гармоник в составе выходного напряжения, что недопустимо современным стандартам качества.

Оценка несинусоидальности формы периодических кривых напряжений основана на величине «коэффициент искажений»:

$$K_U = \frac{U_{H1}}{U_H},$$

где $U_H = \sqrt{\frac{1}{\pi} \sum_{k=0}^{19} \int_{k\pi/20}^{(k+1)\pi/20} \left(1 + \Delta \frac{|\sin 20\omega t|}{\sin 20\omega t} \sin \omega t \right)^2 d\omega t}$ – действующее значение выходного напряжения нагрузки;

$U_{H1} = \sqrt{(a_1^2 + b_1^2)} / 2$ – действующее значение первой гармонической составляющей напряжения нагрузки, где в свою очередь a_1 и b_1 – коэффициенты Фурье:

$$a_1 = \frac{2}{\pi} \sum_{k=0}^{19} \int_{k\pi/20}^{(k+1)\pi/20} \left(1 + \Delta \frac{|\sin 20\omega t|}{\sin 20\omega t} \right) \sin \omega t \cdot \cos \omega t d\omega t;$$

$$b_1 = \frac{2}{\pi} \sum_{k=0}^{19} \int_{k\pi/20}^{(k+1)\pi/20} \left(1 + \Delta \frac{|\sin 20\omega t|}{\sin 20\omega t} \right) \sin \omega t \cdot \sin \omega t d\omega t.$$

Таким образом, для более реального представления формы напряжения, которое следует получить при широтно-импульсном регулировании статорного напряжения на выходе с маловентильного устройства, необходимо это устройство снабдить вольтодобавочным трансформатором, для формирования в состав сетевого напряжения дополнительной величины – добавочное напряжение (вольтодобавка), такую форму отображают кривые (рис.4), построенные в компьютерной системе MATCAD с помощью уравнений (частота переключений 1 кГц, скважность импульсов 0,5, амплитуда вольтодобавки 0,1):

$$U_H = U_m \left(1 + \Delta \frac{|\sin(20\omega t)|}{\sin(20\omega t)} \right) \sin \omega t, \quad \Delta U = \Delta U_m \cdot \frac{|\sin(20\omega t)|}{\sin(20\omega t)} \cdot \sin \omega t,$$

Где $\Delta U(\omega t)$ – добавочное напряжение; $U_H(\omega t)$ – напряжение на выходе установки; $\Delta = \Delta U_m / U_m$ – относительная амплитуда добавочного напряжения, приведенная к амплитудному значению напряжения питания U_m .

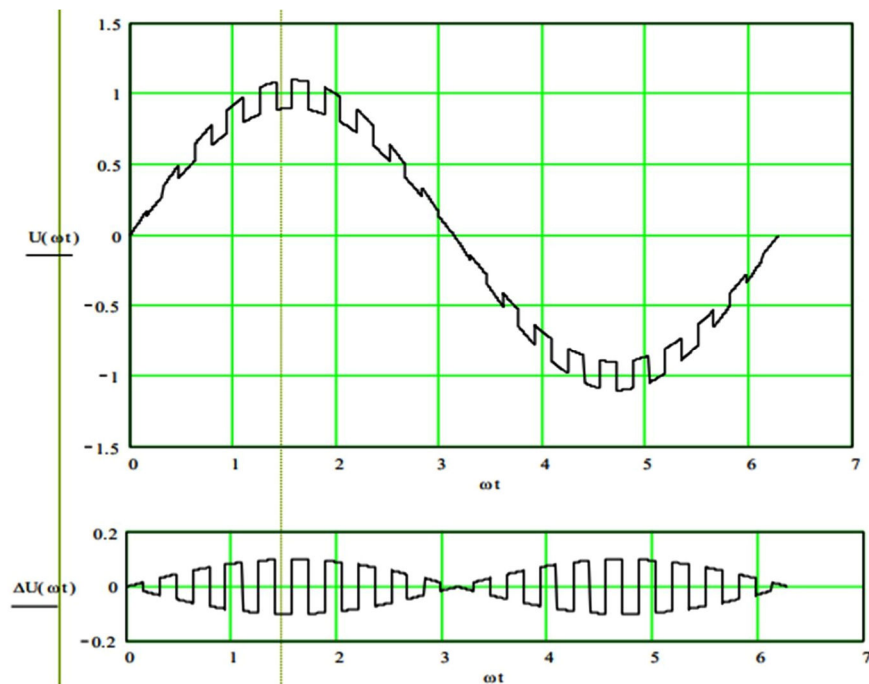


Рисунок 4 – Графики напряжения на выходе установки $U_H(\omega t)$, и добавочного напряжения $\Delta U(\omega t)$

Важно отметить, при регулировании широтно-импульсным способом только части сетевого напряжения, равное величине добавочного напряжения положительного или отрицательного знака, можно достичь отсутствия высших гармоник в спектральном анализе результирующего напряжения (рис.5) [4].

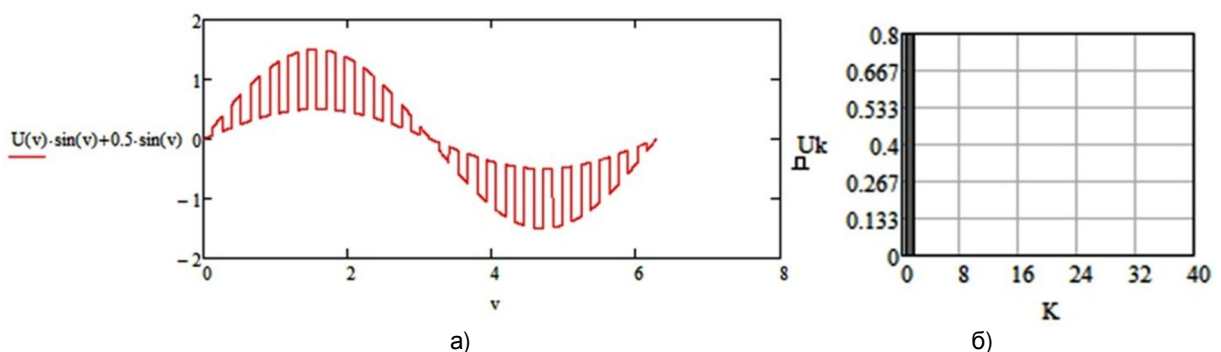


Рисунок 5 – График результирующего напряжения частичной модуляции на выходе маловентильного устройства регулирования (а), спектральный анализ выходного напряжения частичной модуляции (б)

Принимая во внимание, что такие устройства как трансформаторы, в том числе и вольтодобавочные трансформаторы, создают достаточно малые искажения, которые не существенно влияют на работу других потребителей электрической энергии, являются широко применяемыми. Таким образом, внедрение в состав маловентильного устройства регулирования напряжения нагрузки, вольтодобавочного трансформатора является обоснованным и основанным на анализ гармонического состава выходного напряжения этого устройства.

Список литературы:

1. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев [и др.]; под общ. ред. Ю.В. Шарова. – М. : Изд. дом МЭИ, 2008. – 354 с.
2. Немцев А.Г., Немцев Г.А. Качество электроэнергии и режимы ее потребления в системах электроснабжения. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, – 2010. – 439 с.
3. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 19 с.
4. Starostina Y.K. The Application of Volt-Booster Transformer as a Part of Asynchronous Motors Control Devices // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021, Sochi, 05–11 сентября 2021 года. – Sochi, 2021. – P. 56–62.

УДК 621.355.84

**ДИКАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ МЕДИ И СЕРЕБРЯНОЙ ПЕНЫ
ДЛЯ ОКИСЛЕНИЯ ЭТАНОЛА В РАСТВОРАХ ГИДРОКСИДА КАЛИЯ****Таранцева
Клара Рустемовна****Пензенский государственный технологический
университет**
доктор технических наук, профессор
krtar2018@bk.ru**Коростелева
Анна Владимировна****Пензенский государственный технологический
университет**
кандидат технических наук, доцент**Полянскова
Екатерина
Александровна****Пензенский государственный технологический
университет**
кандидат биологических наук, доцент

Аннотация. Работа посвящена исследованию каталитической активности дикатализатора на основе меди и серебряной пены для окисления этанола в щелочных безмембранных спиртовых топливных элементах. Рассмотрена водно-этанольная система $\text{EtOH} + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$, в которой при определенной концентрации компонентов происходит разделение на две несмешивающиеся фазы: верхнюю водно-спиртовую и нижнюю водно-щелочную. Анализ циклических вольтамперных кривых дикатализатора на основе меди и серебряной пены в обоих фазах показал, что он проявляет высокую активность как в процессе окисления этанола, так и восстановления кислорода и может рассматриваться в качестве перспективного катализатора для щелочных спиртовых топливных элементов.

Ключевые слова: топливные элементы, катализаторы, окисление этанола, дикатализаторы; серебрянная пена, медная подложка.

Спиртовые топливные элементы являются перспективными источниками питания как небольших портативных устройств, так и приложений с низким потреблением энергии, что особенно важно для обеспечения бесперебойной работы ответственных потребителей.

В настоящее время основным препятствием для их промышленного освоения является высокая стоимость материалов, используемых в качестве катализаторов.

В кислых средах, а это подавляющее большинство существующих спиртовых топливных элементов, ввиду их высокой коррозионной активности применяются в основном катализаторы на основе платины и палладия. В сильно щелочных электролитах в качестве катализаторов можно применять металлы неплатиновой группы и различные новые материалы и существенно сократить применение платины и палладия. Это связано с тем, что в щелочах энергетический барьер на пути кислородной реакции в них снижен по сравнению с кислыми электролитами.

Ранее, нами был предложен низкотемпературный безмембранный щелочной этанольный топливный элемент, работающий по типу проточной батареи [1]. Работа его основана на электрохимических реакциях в системе двух несмешивающихся жидкостей «вода – этанол – гидрофобная ионная жидкость». Устойчивое разделение фаз позволяет использовать границу раздела фаз между жидкостями как мембрану. Использование этилового спирта, взамен метилового существенно повышает его экологические характеристики и безопасность. Продуктами окисления этанола в результате работы топливного элемента являются углекислый газ, уксусная кислота и вода.

Данная работа посвящена исследованию возможности применения катализаторов на основе меди и серебра ($\text{Cu}/\text{Ag}_{\text{foam}}$) для окисления этилового спирта в предложенном топливном элементе. Оба металла являются превосходными катализаторами в реакции окисления этанола. Они увеличивают пиковую плотность тока окисления, долговечность катализатора и его работоспособность [2–3].

Медь использована в качестве подложки или носителя катализатора, которым является серебро. Как носитель, медь имеет хорошую электропроводность, сильную связь с катализатором и устойчива к коррозии в исследуемых средах, т.е. полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к подложкам катализаторов [4].

Кроме того, по сравнению с различными углеродными носителями, медь обладает целым рядом других преимуществ, это высокая долговечность, низкая гидрофобность, стабильность при высоких температурах и др. [4, 5].

Медь легко сплавляется с серебром, образуя сплавы эвтектического типа. Электроосаждение серебра на проводящую медную подложку позволяет получать катализаторы с заданной структурой. При этом обеспечивается хорошая адгезия между осажденным серебром и медной подложкой, и необходимая толщина осажденного слоя катализатора.

Известно, что метод динамического шаблона газовых пузырьков позволяет получать вспененные катализаторы с развитой поверхностью за счет одновременного протекания процессов электроосаждения металла и выделения водорода [6–10]. В связи с этим большой научный и практический интерес представляет определение возможности использования дикатализаторов на основе меди и вспененного серебра для процессов окисления этанола и восстановления кислорода в сильнощелочных растворах.

Методика исследований

Система несмешивающихся жидкостей представляла собой водно-этанольную систему $\text{EtOH} + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$, для которой ранее была экспериментально получена бинодаль [1]. На основании бинодали были выбраны концентрации компонентов системы ($\text{EtOH} - 30\%$ масс./масс.; $\text{KOH} - 40\%$ масс./масс.; $\text{H}_2\text{O} - 30\%$ масс./масс.), при которых система расслаивается на две несмешивающиеся фазы. Состав этанольной (верхней) фазы: $\text{EtOH} - 57\%$ масс./масс., $\text{KOH} - 28\%$ масс./масс., $\text{H}_2\text{O} - 15\%$ масс./масс., $\text{pH} 13,1$. Состав водной (нижней фазы): $\text{EtOH} \sim 0\%$ масс./масс., $\text{KOH} - 50\%$ масс./масс., $\text{H}_2\text{O} - 50\%$ масс./масс., $\text{pH} 13,2$.

В качестве подложки для катализатора использовали пластину из меди марки М0 размером $10 \times 10 \times 1$ мм. Вначале подложка покрывалась гладким слоем серебра контактным способом, затем на этом слое формировали серебряную «пену».

Электролит для химического серебрения: нитрат серебра AgNO_3 (1,0 г); хлорид натрия NaCl (0,68 г); гексацианоферрат(II) калия $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (4,0 г); декагидрат карбонат натрия $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (1,0 г); вода H_2O (до 100 мл); соляная кислота HCl для доведения водородного показателя раствора до $6,6 \div 7,0$ pH. Серебро из раствора нитрата серебра осаждали хлоридом натрия. Осадок промывали дистиллированной водой для удаления нитрат-ионов. Далее к осадку добавляли гексацианоферрат(II) калия и кипятили $30 \div 40$ минут до изменения цвета осадка до серо-зелёного. После этого добавляли декагидрат карбонат и кипятили осадок еще $2 \div 3$ часа до перехода окраски осадка в коричнево-бурый. Затем фильтровали раствор, доводили pH до $6,6 \div 7,0$ соляной кислотой, и разбавляли дистиллированной водой до 100 мл. Осаждение серебра проводили контактным способом. Медную подложку помещали на 30 секунд в раствор, нагретый до 50°C . После извлечения из раствора электрод промывали вначале водой, затем ацетоном и сушили.

Электролит для нанесения пористого покрытия медь+оксид графена на медную подложку: сульфат меди пентагидрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (5 %); серная кислота H_2SO_4 (14,7 %); остальное дистиллированная вода H_2O . Электроосаждение пористого покрытия на медную подложку проводили при постоянном перемешивании при плотности тока $2 \text{ A}/\text{cm}^2$ в течение 60 сек. Температура электролита 20°C .

Вольтамперные характеристики исследуемого катализатора $\text{Cu}/\text{Ag}_{\text{foam}}$ снимали со скоростью развертки $25 \text{ mV}/\text{с}$ отдельно в верхней и нижней фазах топливного элемента. Вспомогательным электродом являлся платиновый электрод, электродом сравнения насыщенный хлорсеребрянный электрод.

Металлографический анализ поверхности образцов проводили с помощью микроскопа METAM-P1.

Результаты исследований

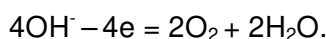
Ниже на рисунках 1 и 2 представлены вольтамперные кривые исследуемого катализатора в верхнем спиртовом слое и нижнем водном слое.

При анодной развертке потенциала исследуемого катализатора в спиртовом слое на вольтамперметрической кривой (рис. 1) видны три пика. Первый при -820 мВ, второй при -570 мВ, третий -380 мВ и далее начиная с 0 мВ начинается окисление серебра до Ag_2O .

Исходя из диаграмм Пурбэ для воды и исследуемых металлов [11] можно предположить, что эти пики связаны с окислением материала анода:

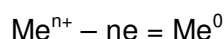


и окислением анионов гидроксидов:



Известно, что на аноде вначале окисляются наиболее сильные восстановители, имеющие наиболее отрицательные значения электродных потенциалов. Исходя из ряда электроотрицательности металлов это будет медь, которая окисляется вначале до Cu_2O при -570 мВ, затем до $Cu(OH)_2$ при -380 мВ, а затем примерно с 0 мВ начинает окисляться серебро до оксида серебра Ag_2O . Далее начинается окисление этанола.

При смене направления развертки в катодном направлении начинается восстановление катионов металла:



и восстановление молекул воды до водорода

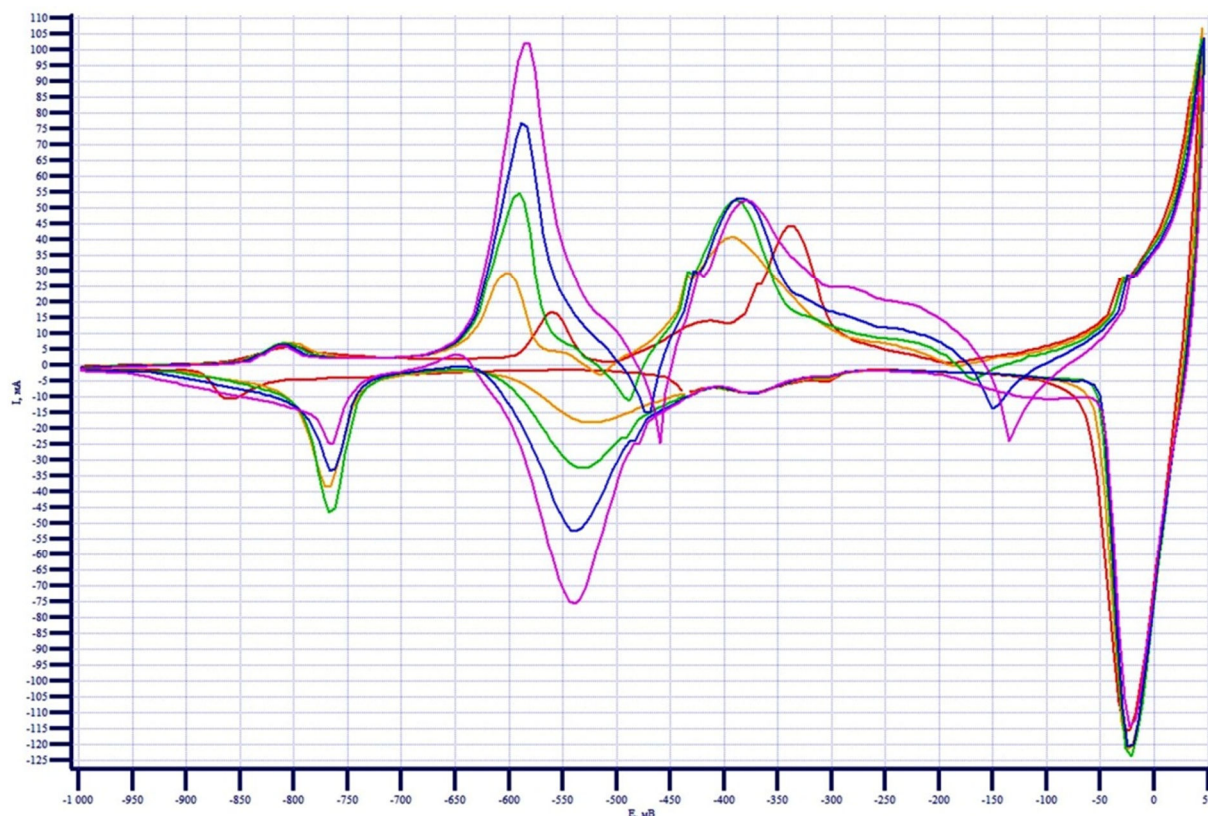
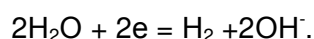


Рисунок 1 – Циклические вольтамперные кривые катализатора Cu/Ag_{foam} в спиртовом слое электролита. Цикл развертки: 1 – красный; 2 – оранжевый; 3 – желтый, 4 – зеленый, 5 – фиолетовый. Скорость развертки 25 мВ/с

Так, при -20 мВ, начинается восстановление оксида серебра Ag_2O до Ag , затем при -510 мВ восстанавливаются оксиды Cu_2O и гидроксиды меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$ до металлической меди Cu , и наконец при -750 мВ начинает восстанавливаться вода с выделением газообразного водорода.

На анодном участке циклической вольтамперной кривой исследуемого катализатора в нижней водно-щелочной фазе (рис. 2) видны 4 пика. Первый пик при потенциале -600 мВ, второй при -350 мВ, третий при $+50$ мВ. Четвертый пик наблюдается при потенциале $+300$ мВ, после него наблюдается «плечо» порядка 100 мВ, и затем, начиная с $+450$ мВ – восстановление кислорода.

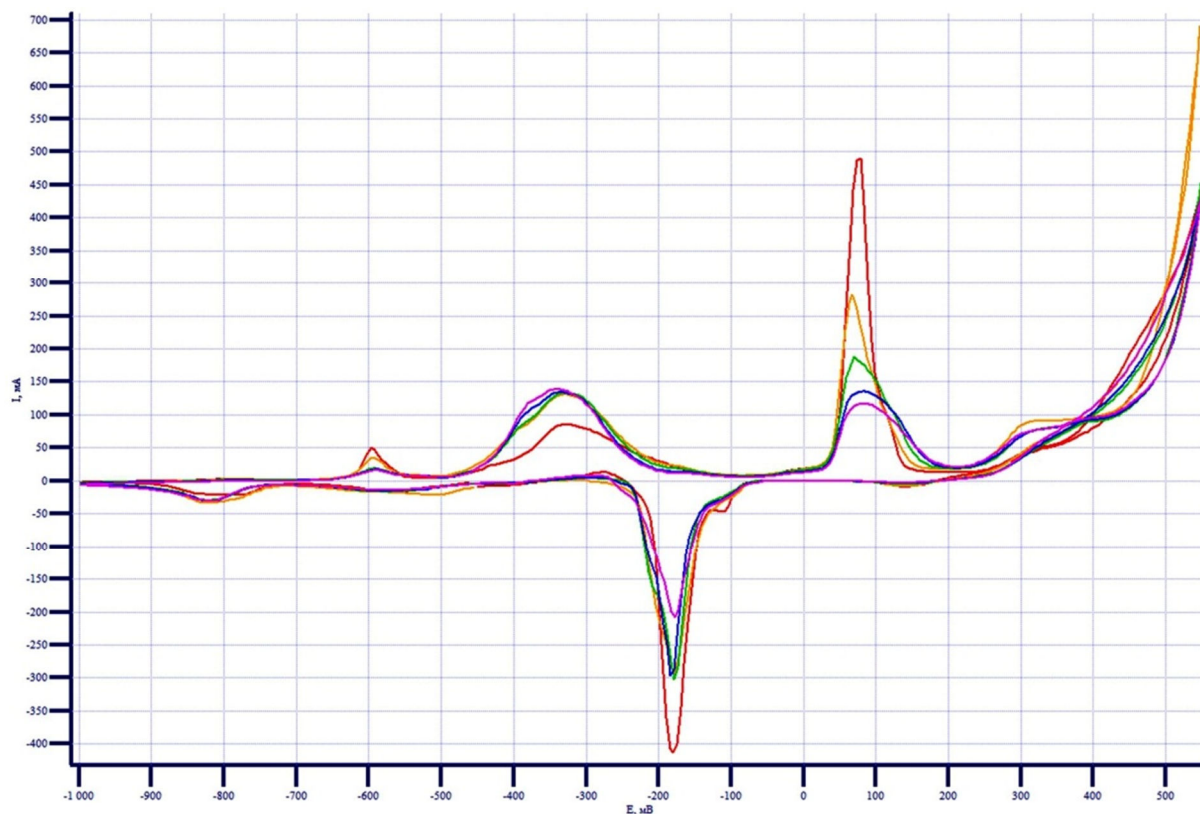
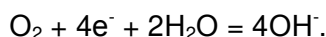


Рисунок 2 – Циклические вольтамперные кривые катализатора Cu/Agfoam в нижней фазе электролита. Цикл развертки: 1 – красный; 2 – оранжевый; 3 – желтый, 4 – зеленый, 5 – фиолетовый. Скорость развертки 25 мВ/с

Видно, что практически при том же потенциале окисления меди до Cu_2O (-600 мВ) токи окисления и меньше почти в 2 раза по сравнению со спиртовой фазой электролита. Напротив, на втором пике (окисление Cu_2O до $\text{Cu}(\text{OH})_2$) (-350 мВ) токи в 5 раз превышают токи окисления в верхней спиртовой фазе. Окисление Ag до Ag_2O ($+50$ мВ) также происходит при более высоких токах. Четвертый пик, связан по-видимому с образованием Ag_2O_2 ($+300$ мВ), «плечо» от $+300$ мВ до $+400$ мВ с покрытием электрода оксидом Ag_2O_2 и началом восстановления кислорода на окисленной поверхности по реакции:



Интересно отметить, что при обратной катодной развертке на вольтамперной кривой отмечается 2 пика. Первый при -200 мВ связан с восстановлением окисленного серебра до Ag , второй при -850 мВ с восстановлением воды до газообразного водорода.

Таким образом исследованный катализатор проявляет высокую активность как в процессе окисления этанола, так и восстановления кислорода и может рассматриваться в качестве перспективного катализатора для щелочных спиртовых элементов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01422, <https://rscf.ru/project/22-29-01422>.

Список литературы:

1. Tarantseva K., Yakhkind M., Mishra A. Systems of two immiscible liquids for a new type of membraneless fuel cells using renewable fuel // E3S Web of Conferences. – 2020. – № 161. – P. 01062.
2. Erikson H., Sarapuu A., Tammeveski K. Oxygen reduction reaction on silver catalysts in alkaline media: a minireview // Chem. Electro. Chem. – 2019. – № 6. – P. 73–86.
3. Chemical Resistance and Catalytic Activity of Copper in the Process of Electrooxidation of Ethanol in Strong Alkaline Media / K. Tarantseva [et al.] // International Journal of Technology. – 2021. – № 12. – P. 676–680.
4. Kenneth I., Ozoemena I. Nanostructured platinum-free electrocatalysts in alkaline direct alcohol fuel cells: catalyst design, principles and applications // RSCAdv. – 2016. – № 6. – P. 89523.
5. Ejikeme P.M., Makgopa K., Ozoemena I. Nanomaterials for Fuel Cell Catalysis. Springer Publishing. – New York, 2016.
6. Popov K.I., Djokic S.S., Nikolic N.D., Jovic V.D. Morphology of electrochemically and chemically deposited metals. – Springer. Berlin, 2016.
7. Nebojsa D., Nikolic N., Predrag M. Optimization of process of the honeycomb-like structure formation by the regime of reversing current (RC) in the second range // Journal of Solid State Electrochemistry. – 2020. – № 24. – P. 1615.
8. 3-D Network pore structures in copper foams by electrodeposition and hydrogen bubble templating mechanism / W. Zhang [et al.] // J. Electrochem. Soc. – 2015. – V. 162. – № 8. – P. 365–370.
9. Cherevko S., Xing X., Chung C. Electrodeposition of three-dimensional porous silver foams // Electrochem. Commun. – 2010. – V. 12. – № 3. – P. 467–470.
10. Cherevko S., Chung C. Impact of key deposition parameters on the morphology of silver foams prepared by dynamic hydrogen template deposition // Electrochim. Acta. – 2010. – № 55. – P. 6383–6390.
11. Takeno N. Atlas of Eh-pH diagrams. Inter comparison of thermodynamic databases // Japan Open File Report. – 2005. – № 419. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.

УДК 622.276.52

**РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ РАБОТЫ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ****Туманян
Хорен Артурович****Российский государственный университет нефти
и газа (национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина**
младший научный сотрудник НИИ физики горных пород
horen.tumanyan@mail.ru**Воронова
Виктория Васильевна****Российский государственный университет нефти
и газа (национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина**
кандидат технических наук, доцент кафедры разработки
и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений
vikapolupanova@mail.ru

Аннотация. Проводимые научные исследования ориентированы на приоритеты государственной энергетической политики, проведены поисковые научные исследования для создания перспективной и недорогой технологии и техники для добычи нефти и газа.

В лабораториях Губкинского университета развернуты научно-исследовательские и конструкторские работы для создания новой энергетически эффективной турбинной, насосной и компрессорной техники, адаптированной к осложненным условиям добычи углеводородов. Разработана и запатентована перспективная компрессорная технология с применением эжекторных систем и специальной турбины, имеющей сетчатую структуру проточной части с возможностью рекуперации энергии. Выполнены исследовательские и конструкторские проработки на пути к созданию интеллектуальных турбин с использованием эжекторной системы управления. Созданы 3D-модели с использованием CAD-системы SolidWorks. В лабораторных условиях успешно проверена работоспособность прототипов.

Результаты исследований представляют практический интерес, поскольку позволяют вывести на новый уровень эксплуатационные показатели эжекторных систем высокого давления, с выходным давлением газа до 400 бар. При этом стоимость новой разработанной компрессорной установки может быть более чем в 15 раз ниже по сравнению с современными компрессорами, при сходных рабочих параметрах.

Работы проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России в рамках государственного задания в сфере научной деятельности, номер темы FSZE-2020-0006.

Ключевые слова: добыча нефти и газа, эжектор, турбина, 3D-моделирование, аддитивные технологии.

В России имеется потенциал энергосбережения, и существуют возможности значительного повышения экономической эффективности проектов в сфере энергетики [1]. Анализ научной информации позволил наметить перспективное направление исследований, применительно к решению актуальных проблем в области нефтяной и газовой промышленности, составляющей основу отечественной энергетики. И это направление связано с созданием компрессорной техники и турбин, имеющих сетчатую структуру проточных каналов [2]. Кроме того, зарубежные компрессорные и турбинные технологии сейчас закрыты для российского рынка из-за введенных санкций. Вместе с тем применяемые технологии многоступенчатого сжатия отличаются

чрезмерно высокой ценой на оборудование, что ставит под сомнение рентабельность реализации многих проектов по разработке месторождений углеводородов с применением компрессорной техники. В связи с этим, развитие работ [3–4], нацеленных на создание эффективных и более дешевых энергосберегающих технологий позволит решать актуальные производственные проблемы при добыче углеводородов в осложненных условиях, в том числе на поздней стадии разработки нефтяных и газовых месторождений.

В лабораториях РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина развернуты научно-исследовательские и конструкторские работы по созданию новых принципов преобразования энергии в динамических машинах, для создания новой энергетически эффективной турбинной, насосной и компрессорной техники, адаптированной к осложненным условиям добычи углеводородов [5–11]. Специалистами университета разработана и запатентована новая технология сжатия газов с применением струйной компрессорной установки при циклическом включении эжектора (Патенты Российской Федерации № 2 680 021; № 2 680 028; № 2 702 952; № 2 707 989; № 2 714 989; № 2 750 833; № 192 513).

В рамках исследований разработаны программы и методики физических экспериментов, создан стенд для испытаний новой компрессорной установки, внешний вид которого представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид новой компрессорной установки

В ходе экспериментальных исследований установлено, что при реализации циклического низкочастотного рабочего процесса, выходное давление газа может сравняться с давлением рабочей жидкости, а параметр соотношения давлений достигает значения 1, и этот результат подтвержден экспериментально при проведении стендовых испытаний новой эжекторной системы в лабораторных условиях [9]. Результаты исследований представляют практический интерес, поскольку позволяют вывести на новый уровень эксплуатационные показатели эжекторных систем высокого давления, с выходным давлением газа от 20 до 40 МПа.

В экономическом плане привлекательными видятся следующие особенности описанной технологии: 1 – отсутствует необходимость в проведении дорогостоящей предварительной подготовки и очистки газа; 2 – имеются возможности для сборки компрессорных установок на основе дешевых серийно выпускаемых эжекторов, насосов и сепарационных узлов.

В ходе исследовательской работы разработаны и запатентованы варианты сетчатых турбин, оснащенных специальными системами управления [3]: по патенту РФ № 192513. Запланировано использование подобной турбины в составе компрессорной

установки, представленной на рисунке 1. Разработка новой турбинной системы рассматривается в рамках проводимого в стране модернизационного рывка, включающего цифровую трансформацию и интеллектуализацию отраслей топливно-энергетического комплекса.

Результаты выполненных научных исследований можно считать основой для перспективной технологии, позволяющей осуществлять одноступенчатое изотермическое сжатие газа без ограничений по степени повышения давления. При этом стоимость новой разработанной компрессорной установки может быть в 16...20 раз ниже по сравнению с современными компрессорами, при сходных рабочих параметрах.

Проводимые научно-исследовательские работы ориентированы на приоритеты государственной энергетической политики: переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике; рациональное природопользование и энергетическая эффективность; максимально возможное использование оборудования, имеющего подтверждение производства на территории Российской Федерации.

Авторы гарантируют, что публикуемое произведение не является плагиатом, не содержит государственную тайну и исключительные права на данное произведение ранее не переданы третьему лицу, а также не содержит запрещенных к открытой публикации материалов в строгом соответствии с законодательством Российской Федерации и внутривузовскими программами в области экспортного контроля.

Список литературы:

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года // Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р.
2. Рехтен А.В. Струйная техника: основы, элементы, схемы. – М. : Машиностроение, 1980. – 237 с.
3. Патент № 192513. Двигатель // Сазонов Ю.А., Мохов М.А., Туманян Х.А., Франков М.А., Тимошенко В.Г. – Заявка: 2019120602, 02.07.2019. – Опубликовано: 18.09.2019 Бюл. № 26.
4. Патент РФ № 2750833. Компрессорная установка // Сазонов Ю.А., Мохов М.А., Туманян Х.А., Франков М.А., Мун В.А., Балака Н.Н. – Заявка: 2020141542, 16.12.2020. – Опубликовано: 05.07.2021. – Бюл. № 19.
5. Разработка эжекторных систем для месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов / Ю.А. Сазонов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 10. – С. 110–112. – DOI : 10.24887/0028-2448-2017-10-110-112.
6. Разработка компрессорных технологий с эжекторами высокого давления для добычи нефти и газа / Ю.А. Сазонов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 5. – С. 78–82. – DOI : 10.24887/0028-2448-2018-5-78-82.
7. Разработка технологий с циклической работой эжектора при добыче нефти и газа / Ю.А. Сазонов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 7. – С. 100–102. – DOI : 10.24887/0028-2448-2018-7-100-102.
8. Development of an Automated Compressor Unit for Gas Compression at the Periodic Connection of an Ejector / I.A. Sazonov [et al.] // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. – 2019. – Vol. 16. – № 12. – P. 5378–5383. – Publisher: American Scientific Publishers.
9. Prototyping mesh turbine with the jet control system / I.A. Sazonov [et al.] // PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA. – 2020. – Vol. 17. – № 36. – P. 1160–1175.
10. Development and prototyping of jet systems for advanced turbomachinery with mesh rotor / Yu.A. Sazonov [et al.] // Emerging Science Journal. – 2021. – Vol. 5. – № 5. – P. 775–801. – DOI : 10.28991/esj-2021-01311.
11. Prototyping and study of jet systems for developing mesh turbomachines / Yu.A. Sazonov [et al.] // International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.). – 2021. – Vol. 15. – № 7. – P. 335–345. – DOI : 10.15866/ireme.v15i7.21163.

УДК 697

**ВОЗМОЖНОСТЬ РЕКУПЕРАЦИИ БРОСОВОЙ ТЕПЛОТЫ
ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В РАМКАХ МОДЕРНИЗАЦИИ
СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ****Хабиров
Юлай Марсович****Уфимский государственный нефтяной
технический университет**
студент магистратуры
yulahab@yandex.ru**Хамидуллин
Ильдар Салимович****Уфимский государственный нефтяной
технический университет**
доцент кафедры водоснабжения и водоотведения
khamid_ildar@mail.ru

Аннотация. В настоящее время важными задачами жилищно-коммунального комплекса является создание максимально комфортных условий проживания, модернизация инженерных систем зданий, приведение их к современным требованиям высокой эффективности и экономичности. В данной работе рассмотрена возможность модернизации системы теплоснабжения здания путем утилизации бросовой теплоты холодильной установки и использования ее для нужд горячего водоснабжения.

Ключевые слова: модернизация, теплообменник, рекуперация, утилизация теплоты, тепловая энергия.

В **ведение**

В условиях роста цен на энергоресурсы важной задачей остается снижение количества потребляемой энергии и повышение энергетической эффективности инженерных систем зданий.

Один из способов решения данной проблемы заключается в использовании вторичных энергетических ресурсов за счет внедрения системы рекуперации энергии. Установка системы рекуперации позволяет повторно использовать энергию теплоты, выделяемой различными инженерными системами.

В данной статье рассматривается возможность модернизации системы теплоснабжения здания путем утилизации бросовой теплоты холодильной установки и использования ее для нужд горячего водоснабжения.

В настоящее время в жилых зданиях существует множество источников неиспользуемой энергии: сбросная энергия отработанного пара, дымовых газов, тепло охлаждения технологических продуктов. Часто на первых этажах жилых домов и в пристройках размещены различные коммерческие и торговые предприятия, учреждения здравоохранения, спортивно-оздоровительные комплексы, оснащенные холодильными установками и системами кондиционирования. Системы охлаждения в процессе конденсации хладагента вырабатывают большое количество теплоты, которую можно рекуперировать и использовать для нужд приготовления горячего водоснабжения.

Многие крупные промышленные предприятия – хладокомбинаты, центры обработки данных, предприятия пищевой промышленности – также генерируют большое количество неиспользуемого тепла, которое можно применить в системах централизованного теплоснабжения.

Наиболее простой принцип рекуперации тепла холодильных установок основан на использовании энергии тепла перегретого газа, образованного в процессе сжатия компрессором паров хладагента, или теплоты, выделяемой при конденсации хладагента [1]. Использование первой – высокопотенциальной теплоты – наиболее эффек-

тивно из-за высокой температуры газа, которая может достигать 100 °С. Снятие данной теплоты позволяет нагревать воду в системах теплоснабжения до высоких температур. Низкопотенциальная теплота конденсации хладагента не может обеспечить нагрев теплоносителя до необходимых значений, однако в процессе работы холодильной машины такой теплоты выделяется значительно больше, чем высокопотенциальной [1]. Для утилизации теплоты в нагнетательную линию встраивают теплоутилизационные установки различного типа, состоящие из теплообменников. Выбор схемы рекуперации и типа теплообменника зависит от конструкции системы хладоснабжения и применяемого в системе хладагента [1].

При рекуперации бросовой теплоты холодильных установок появляется возможность подогрева воды для нужд горячего водоснабжения, что более эффективно, чем отводить данную теплоту в атмосферу посредством конденсаторов. Степень нагрева воды в такой системе будет зависеть от производительности холодильного оборудования, при ее недостатке вводится дополнительный нагрев. Схема реализации подобной системы приведена на рисунке 1 [2].



Рисунок 1 – Система рекуперации бросовой теплоты холодильной машины и ее использования для нужд горячего водоснабжения

Система рекуперации позволяет повысить не только эффективность использования тепловых ресурсов, но и качество обеспечения потребителей горячим водоснабжением, поскольку появляется возможность бесперебойной работы во время ремонтных отключений тепловых сетей в летние периоды.

Существенным преимуществом таких систем является уменьшение шума и вибраций от работы внешних конденсаторов, драйкулеров или других устройств, на которых обычно утилизируется тепло. Такое решение позволяет улучшить качество жизни жителей дома, сократив неблагоприятное влияние шума, особенно в ночные часы. Наличие в схеме рекуперации теплообменников позволяет включать вентилятор конденсаторных установок только в моменты низкого теплоснабжения, применяя их для поддержания настроенного в системе давления конденсации.

Недостатком одноступенчатой системы рекуперации на основе теплообменников является технологическая невозможность нагрева необходимого количества воды до значений 60–65 °С, требуемых в системах ГВС, при низкой производительности холодильных установок. Поэтому нами предложена двухступенчатая система (рис. 2). На первой ступени вода из системы холодного водоснабжения нагревается в теплообменнике за счет рекуперации бросовой теплоты холодильной установки. Теплообменник подключается к нагнетательной линии установки охлаждения и использует для нагрева воды энергию тепла перегретого газа, образованного в процессе сжатия компрессором паров хладагента. В случае недостаточной мощности (или температурного режима) холодильной машины для нагрева воды до температуры 65 °С, например, в зимний период, дополнительный нагрев воды производится в теплообменнике второй ступени системы за счет сетевого теплоносителя. Регулирование работы системы производится контроллером системы автоматизации по данным, поступающим от датчиков температуры.

Существенным плюсом предложенной системы является возможность снижения количества потребляемого из сети теплоносителя за счет максимального использования потенциала рекуперированной энергии, что обеспечивает значительную экономию энергоресурсов.

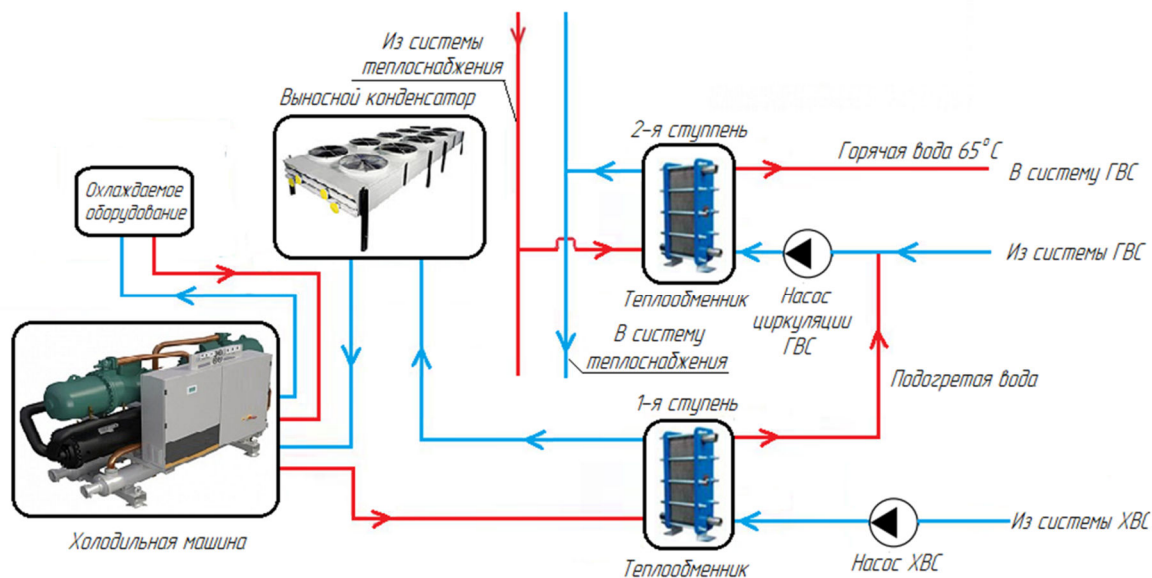


Рисунок 2 – Система рекуперации бросовой теплоты холодильной машины в двухступенчатой системе горячего водоснабжения

Систему рекуперации можно применять и для нагрева воды в баках-аккумуляторах горячего водоснабжения, что позволяет регулировать и сглаживать пики потребления воды [3].

Заключение

Таким образом, внедрение системы рекуперации бросовой теплоты холодильных установок в систему горячего водоснабжения позволяет обеспечить значительную экономию энергоресурсов.

За счет использования более дешёвых вторичных энергетических ресурсов сокращаются затраты потребителей. Для коммерческих предприятий системы рекуперации позволят уменьшить размеры воздушных конденсаторов и снизить затраты электроэнергии на охлаждение оборудования.

Постоянная работа холодильных установок на коммерческих предприятиях позволяет повысить качество снабжения потребителей горячей водой, поскольку появляется возможность обеспечения бесперебойной работы системы горячего водоснабжения, что актуально в летние периоды во время ремонтных отключений централизованных систем теплоснабжения.

К экологическим преимуществам можно отнести сокращение выбросов в атмосферу оксидов азота и углекислого газа, уменьшение теплового и шумового загрязнения атмосферы. Улучшается качество жизни жителей дома за счет сокращения неблагоприятного влияния шума и вибрации от работы конденсаторных установок.

Список литературы:

1. Кузнецов Д.В., Тиханкин Д.В., Артемов И.И. Современные способы утилизации тепла в холодильных установках // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 4. – С. 189–191.
2. Разработка схемы системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин для снижения зависимости ледовой арены от городских систем отопления и горячего водоснабжения / И.А. Короткий [и др.] // Вестник МАХ. – 2021. – № 1. – С. 34–39.
3. Рахнов О.Е., Саклаков И.Ю., Потапов А.Д. Особенности построения схем теплоснабжения от автономных источников для крупных производственных комплексов и логистических центров в урбосистемах на экологических принципах // Вестник МГСУ. – 2013. – № 11. – С.177–187.

УДК 62-799

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ**Хамидуллин
Ильдар Ниязович****Казанский государственный энергетический университет**
бакалавр, студент
ildar.ildar-xam2017@yandex.ru**Маслов
Савелий Юрьевич****Казанский государственный энергетический университет**
бакалавр, студент
saveli2000@gmail.com**Мочалов
Николай Сергеевич****Казанский государственный энергетический университет**
аспирант кафедры теоретические основы электротехники
4stars@rambler.ru

Аннотация. В период с осени вплоть до конца зимы на ВЛЭП возникает проблема гололёда образования, которая затрудняет передачу энергии от электростанции к потребителю. В данном тезисе рассматривается устройство, осуществляющее связь между блоками управления и плавки льда, а также передачу по беспроводному каналу данные на диспетчерский пульт, содержащую информацию о состоянии линий.

Ключевые слова: ВЛЭП, провода, тросы, мобильная система плавки гололёда, система мониторинга гололёдообразования.

Активное развитие науки и техники на протяжении прошлого столетия привело к созданию множества различных электрических приборов и устройств, нашедших применение во всех сферах человеческой жизни. Для работы данных приборов и устройств необходима электрическая энергия, которая вырабатывается на электрических станциях, и благодаря линиям электропередачи передается на большие расстояния в города, в которых преобразуясь попадает к конечным потребителям. Перебои с подачей электрической энергии могут негативно сказаться как на повседневной жизни людей, так и на работу различных заводов и производств. Поэтому одной из важнейших задач компаний распределительного электросетевого комплекса, становится обеспечение надежного энергоснабжения потребителей. Наибольшая опасность возникает в осенний зимний период, когда происходит гололёдообразование на высоковольтных линиях электропередачи на проводах ВЛ 0,4-6-10 кВ.

Гололёдоизморозевые отложения (ГИО), представляют серьезную опасность и могут вызывать:

- опасное сближение проводов и тросов в результате их провисания при образовании гололёда;
- раскачивание проводов, которое приводит к коротким замыканиям между проводами и тросами, некоторых случаях непосредственно к повреждениям линейной арматуры и креплений;
- механическую перегрузку тросов и проводов, приводящую непосредственно к их обрыву;
- разрушение опор из-за обрыва проводов и тросов вызванной образованием от гололёда.

Специально для борьбы с ГИО была разработана мобильная система плавки гололёда, работающая совместно с системой мониторинга гололёдообразования (СМГ), и устройством сбора и преобразования данных (УСПД).

В систему мониторинга входят различные датчики, позволяющие получать сведения о температуре провода и окружающей среды, угле провиса провода и протекающем токе, а также благодаря модулю радиосвязи обеспечивается беспроводное соединение с устройством обработки данных (рис. 1).

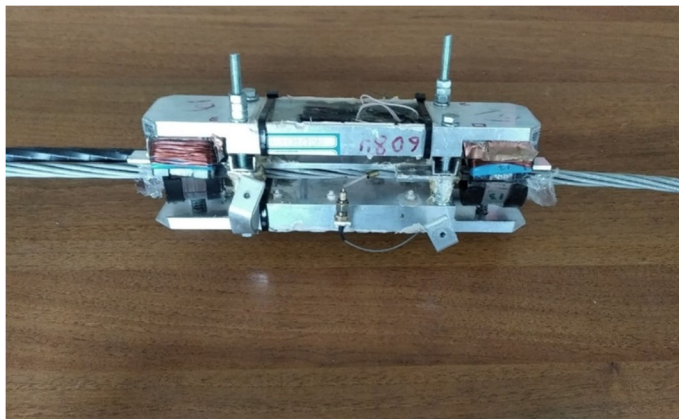


Рисунок 1 – Датчик СМГ

УСПД собирает данные с 10 датчиков СМГ, преобразует их и передает на устройство диспетчеризации по беспроводному каналу связи. В зависимости от полученных данных диспетчер осуществляющий мониторинг может подачей сигналов в блок управляемых выпрямителей, своевременно решить проблему гололедообразования, путем нагрева соответствующей части линии.

Блок схема системы автоматизированного контроля и устранения ГИО на ВЛЭП представлена на рисунке 2.

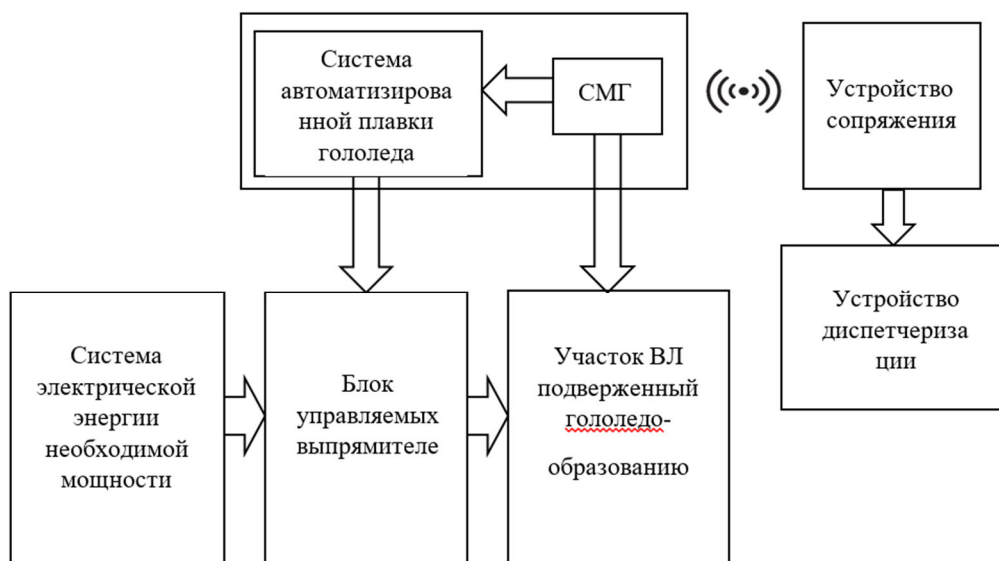


Рисунок 2 – Блок-схема работы системы автоматизированного контроля и устранения гололедообразования на воздушных линиях электропередачи

В самом датчике находится два трансформатора, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга, которые состоят из катушек с намотанными медными проводами и съёмными сердечниками, представляющими половинки полого цилиндра, благодаря такой конструкции разработанный датчик можно с легкостью монтировать на ВЛЭП. Так как вокруг проводника при протекании тока образуется электромагнитное поле, трансформатор, установленный на линии, собирает эту энергию и преобразует для питания внутренней платы. Из этого вытекает существенное достоинство разработанного устройства, отсутствие необходимости под зарядкой от внешних устройств, к тому же отпадает необходимость в частом их обслуживании. Датчик закрепляется на линии при помощи четырех болтов, находящихся на корпусе.

Вывод: таким образом в качестве решения ключевой проблемы, возникающей при эксплуатации высоковольтных линий электропередач, выступает возможность организации своевременного удаления гололедоизморозевых отложений (ГИО) на

проводах ВЛ 0,4-6-10 кВ. Для борьбы с ГИО существует мобильная система плавки гололеда, которая работает совместно с системой мониторинга гололедообразования (СМГ).

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (соглашение № 075-03-2022-151 от 14.01.2022).

Список литературы:

1. Методика мониторинга гололедных отложений на проводах Вл с учетом разрегулировки линейной арматуры / Д.А. Ярославский [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2017. – № 5–6.
2. Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. конф. (Казань, 28–29 апреля 2020 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 636 с.
3. Стороженко Д.Ю., Рыжков А.В. Совершенствование методики применения устройств встроенной диагностики контактной сети // Известия Транссиба. – 2016. – № 4.

Секция 2.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ
СИСТЕМ**

УДК 004.94

**ОПИСАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПОТЕРЬ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ
РЕТРАНСЛЯЦИИ ПАКЕТА ДАННЫХ В ЛИНЕЙНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ
СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ ТЕРРИТОРИАЛЬНО ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ****Олейников
Дмитрий Николаевич****Северо-Кавказский федеральный университет**
аспирант кафедры вычислительной математики
и кибернетики факультета математики и компьютерных наук
имени профессора Н.И. Червякова
dimanpealman@yandex.ru**Федоренко
Владимир Васильевич****Северо-Кавказский федеральный университет**
доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник кафедры строительства
нефтяных и газовых скважин, институт наук о Земле
fovin_25@mail.ru

Аннотация. В статье представлены основные моменты разработки математической модели при описании временных потерь, возникающих в беспроводной линейной сенсорной сети в процессе передачи данных и учитывающей затраты времени. Особенностью данных моделей является учет временных и энергетических потерь в межузловых каналах связи и внутри самих сенсорных узлов (вычислительные затраты на формирование данных и их передачу между микропроцессорами и радиомодемами).

Ключевые слова: линейная беспроводная сенсорная сеть, математическая модель, сквозная задержка, ретрансляция пакета данных.

К территориально протяженным объектам критической инфраструктуры (КИ) относятся трубопроводы (нефти, газа, воды и т.п.), кабели линий электропередач и телекоммуникаций, железные дороги, мосты, ограждения охраняемых территорий и др. Все эти приложения для мониторинга объектов КИ важны не только для коммерческих целей, но и оказывают влияние на национальную безопасность, поскольку они являются уязвимыми целями террористической деятельности [1].

Для мониторинга критически важных инфраструктур применяются сигнализационные комплексы, базирующиеся на беспроводных сенсорных сетях (БСС) [2]. Узлы БСС динамически взаимодействуют друг с другом для передачи высокоточных данных на значительные расстояния. Надежность топологии БСС определяется взаимосвязью узлов, позволяющей в случае отказа оборудования какого-либо узла находить альтернативные маршруты для передачи данных через другие узлы в направлении к центральной станции (ЦС). Кроме того, к функциям узлов относится способность локализация событий с инцидентами [3].

Мониторинг территориально протяженных объектов требует линейного размещения сенсорных узлов. С этой целью размещение датчиков БСС требует линейной формы, создавая особый класс этих сетей, который определяется как линейная БСС. БСС считается линейной, если выполняется одно из следующих условий: если все узлы выровнены по прямой, строго образуя линию; если все узлы существуют между двумя параллельными линиями, которые простираются на относительно большое расстояние по сравнению с их дальностью передачи [4].

Выбор метода рассредоточения узлов при линейной топологии БСС определяется многими факторами, прежде всего, временем службы узловых элементов [5]. Недостатком метода равномерного рассредоточения узлов (узлы находятся на одинако-

вом расстоянии друг от друга) имеет определенные преимущества, его недостатком является неравномерное энергопотребление узлами (чем ближе к ЦС, тем больше нагрузка на узлы).

Схема размещения узлов с линейным последовательным уменьшением расстояния при приближении к ЦС позволяет частично решить проблемы неравномерного энергопотребления узлами [6]. Так как источниками питания большинства сенсорных узлов являются химические источники тока, то оптимальная энергоэффективность и энергосбережение являются ключевыми вопросами проектирования БСС, от которых зависит время автономной работы узлов и надежность всей сети [7].

Важными характеристиками БСС КИ являются такие оперативные показатели БСС, как надежность связи (гарантированная доставка данных) и оперативность (своевременное поступление информации о тревожном событии на ЦС). Под надежностью связи следует понимать гарантированную доставку аутентичного сообщения от любого из датчиков системы до базовой станции через цепь последовательных ретрансляций. Требование к оперативности в сфере мониторинга протяженных объектов сводится к минимизации задержки при передаче сообщения от удаленного датчика сигнализационного комплекса до базовой станции. Надежность сети определяется безотказностью узлов, которая зависит от экономного расхода энергоресурса. Преждевременный разряд источника питания является причиной разрыва линейной БСС. Следовательно, функционирование узла должно быть сведено к минимуму и использоваться только для передачи сигналов мониторинга объекта и самодиагностики.

Разработка математической модели сквозной задержки процесса передачи пакета данных по участку линейной БСС зависит от многих факторов. К таким факторам можно отнести следующие:

- количество узлов, входящих в линейную БСС;
- качество радиосвязи;
- применяемой в целях корректного функционирования БСС концепцией обмена данными;
- качество разработки и проектирования узлов БСС;
- эффективность реализации исполняемого программного кода, реализующего логику работы устройства (каждого беспроводного сенсорного узла) в сети;
- выбор радиоэлектронной компонентной базы;
- выходной мощности передатчика.

Качество радиосвязи может характеризоваться различными значениями глубины замираний радиосигнала на соответствующих участках линейной БСС.

При описании *концепции обмена данными* могут рассматриваться следующие основные схемы передачи пакетов данных по сети: без квитирования и с квитированием [8]. Схемы, отвечающие потребностям гарантированной доставки передаваемого по линейной БСС пакетов данных, работают на основе методов, реализующих наложение резолюции успешной передачи пакета от узла-передатчика узлу-получателю. К таким методам могут относиться широко известные протоколы передачи данных в линейных БСС с использованием явной квитанции подтверждения успешного приёма (explicit acknowledgement, eACK [9]) и неявной квитанции подтверждения успешного приёма (implicit acknowledgement, iACK [10]).

Качество разработки и проектирования узлов линейной БСС непосредственным образом может влиять на такие эксплуатационные характеристики сенсорных узлов как *потребляемая мощность*, влияющая на результирующее время автономной работы сети, *дальность передачи*, влияющая на вероятность возникновения битовой ошибки в передаваемом пакете данных, а также выход за пределы заявленных технических характеристик с течением времени эксплуатации устройства и прочее.

Выбор радиоэлектронной компонентной базы тесно связан с качеством функционирования линейной БСС и результирующей стоимостью проектируемой сети.

Величина сквозной задержки (совокупных временных затрат на передачу пакета по i -му участку линейной БСС) складывается из *аддитивной* и *мультипликативной* составляющих.

Вне зависимости от применяемой схемы квитиования, реализованного в протоколе обмена данными линейной БСС *аддитивная* составляющая временных затрат при передаче на i -м участке сети, состоящем из x_i межузловых линий связи будет постоянной величиной, зависящей от: скорости сбора данных подключённых к узлу сенсоров и процессорного времени микроконтроллера, затрачиваемого на формирование массива данных, вычисление контрольной суммы сформированного массива при соответствующей частоте тактирования ядра выбранного микроконтроллера.

Мультипликативная составляющая временных затрат, происходящая в каждом из узлов линейной БСС, будет определяться процессами, обусловленными передачей сообщений между узлами сенсорной сети, которые можно разделить на следующие этапы:

- 1) приём входящего пакета данных от соседнего узла-отправителя;
- 2) синтез и последующая передача узлу-отправителю квитанции подтверждения успешного приёма;
- 3) ретрансляция принятого пакета данных следующему сенсорному узлу.

Каждый из перечисленных этапов сопровождается неизбежными временными затратами, которые в совокупности сказываются на общем показателе оперативности линейной беспроводной сенсорной сети, или сквозной задержке.

Помимо мультипликативной составляющей суммарных временных потерь на каждом из узлов линейной БСС значение сквозной задержки зависит от значения вероятности возникновения битовой ошибки в ретранслируемом пакете данных. Вероятность возникновения битовой ошибки зависит от таких параметров проектируемой линейной БСС, как межузловые расстояния, мощность выходного каскада усилителя мощности радиосигнала передатчика, глубины замирания радиосигнала на i -м участке.

Таким образом, при проектировании линейной БСС, назначение которой будет являться мониторинг технического состояния территориально протяженных объектов КИ, следует особое внимание уделять оценке показателя оперативности доставки пакетов данных от удаленного узла линейной БСС через цепочку ретрансляций на базовую станцию (временным потерям процесса передачи данных по линейной БСС), от которого в зависимости от конкретного типа КИ будет зависеть время, через которое будет применено управляющее воздействие на систему (реагирование на сообщение о тревоге, отключение поврежденного участка и пр.).

Список литературы:

1. Организация АСУ ТП распределенных объектов на основе беспроводных сенсорных сетей / С.В. Ларцов [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – С. 29–32.
2. Распределенная система контроля технологических объектов нефтегазовой промышленности на базе беспроводной сенсорной сети / Е.А. Барабанова [и др.] // Вестник Астраханского ГТУ. Серия: управление, вычислительная техника, информатика. – 2017. – № 2. – С. 98–104.
3. B. Huang, C. Yu, B.D. Anderson. Analyzing localization errors in one-dimensional sensor networks // Signal Processing. – 2012. – № 92(2). – P. 427–438. – DOI : 10.1016/j.sigpro.2011.08.007.
4. I. Jawhar, N. Mohamed, D.P. Agrawal. Linear wireless sensor networks: Classification and applications // Journal of Network and Computer Applications. – 2011. – № 34(5). – P. 1671–1682. – DOI :10.1016/j.jnca.2011.05.006.
5. Impact of Node Deployment and Routing for Protection of Critical Infrastructures / S. Fazli [et al.] // IEEE Access. – 2019. – № 7. – P. 11502–11514. – DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2891667.
6. V. Fedorenko, I. Samoilenko, V. Samoilenko. Energy-balanced distribution of radio modules with various technical states among positions of nodes in wireless sensor networks // AEU – International Journal of Electronics and Communications. – 2021. – № 138 (2021). – P. 153849. – DOI : 10.1016/j.aeue.2021.153849.

-
7. G. Owojaiye, Y. Sun. Focal design issues affecting the deployment of wireless sensor networks for pipeline monitoring // *Ad Hoc Networks*. – 2013. – № 11(3). – P. 1237–1253. – DOI:10.1016/j.adhoc.2012.09.006.
 8. Y. Liu, A. Liu, Z. Chen. Analysis and Improvement of send-and-wait automatic repeat-reQuest protocols for wireless sensor networks // *Wirel. Pers. Commun.* – 2015. – № 81(3). – P. 923–959.
 9. ARQ with Implicit and Explicit ACKs in Wireless Sensor Networks / Z. Rosberg [et al.] // In Proceedings of the GLOBECOM–IEEE Global Telecommunications Conference. – 2008. – Taipei, Taiwan, 7–11 December.
 10. M.E. Rusli, R. Harris, A. Punchihewa. Performance Analysis of Implicit Acknowledgement Coordination Scheme for Opportunistic Routing in Wireless Sensor Networks // Proceedings of the 2012 International Symposium on Telecommunication Technologies. – Kuala Lumpur, Malaysia, 26–28 November.

Секция 3.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ

УДК 621.9.06-229.3.001.63

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОПИСАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ
В КОНСТРУКЦИЯХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ
ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ****Гололобов
Денис Владимирович**Российский государственный университет нефти
и газа (национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина
старший преподаватель
dgololobov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы формирования информационной модели описания соединения деталей для формирования сборочного чертежа технологической оснастки, обработка полученной модели средствами языка Python в информационное представление в языке описания объектов в коде Autolisp, с последующим построением их в AutoCAD.

Ключевые слова: стандартные детали технологической оснастки, механическая обработка, информационная модель, программирование, Python, Autolisp.

Проектирование технологической оснастки для механической обработки (МО) деталей является одной из задач технологической подготовки производства (ТПП). В зависимости от типов производства и производственных возможностей предприятия, а также с учетом выпускаемой номенклатуры продукции реализация данной задачи может происходить по разным методам. При этом в случаях, когда возникает потребность в такого рода проектировании, документация на изготовление технологической оснастки является неотъемлемой частью всей внутривзаводской документации, входящей в общий состав документов на изделие.

Проектирование, как сам процесс, который является неотъемлемой частью ТПП, условно можно разделить на работы связанные с проектированием новых изделий (которые ранее не изготавливались производством) и уже на известные задачи, которые со временем изменяются в условиях например смены типоразмеров изготавливаемой номенклатуры изделий, незначительные изменения геометрии и требований деталей, замены оборудования и т.д. Такого рода процессы можно рассматривать с точки зрения попыток различной степени автоматизации проектирования, что позволит сокращать время, которое затрачивается как на сам процесс проектирования, так и время на подготовку новой документации для производства. Такие условия позволяют сохранять методики для проектирования, последовательность проектных работ, и чаще всего связаны только с незначительными изменениями значения параметров проектирования и чуть реже с набором этих параметров.

Исходя из этих соображений рассматриваемый метод позволяет автоматизировать процесс проектирования технологической оснастки, описывая известную методику проектирования.

В основу метода положено использование стандартизованных элементов (деталей), входящих в состав технологической оснастки и как следствие этого дающий представление о геометрии описываемых изделий и вариантах типоразмеров, которые содержатся в соответствующих стандартах.

Для примера возьмем два стандартных элемента для проектирования технологической оснастки: призма ГОСТ 12195-66 и цилиндрический палец ГОСТ 12209-66 (рис. 1 и рис. 2).

Два эти элемента могут быть использованы совместно при проектировании технологической оснастки, при этом призма является элементом для непосредственного

базирования заготовки в приспособлении, а цилиндрический палец служит для определения место положения самой призмы в составе конструкции приспособления. Это указывает на то, что два этих элемента должны быть связаны в общей конструкции, и наличие этой связи необходимо учитывать в модели описания.

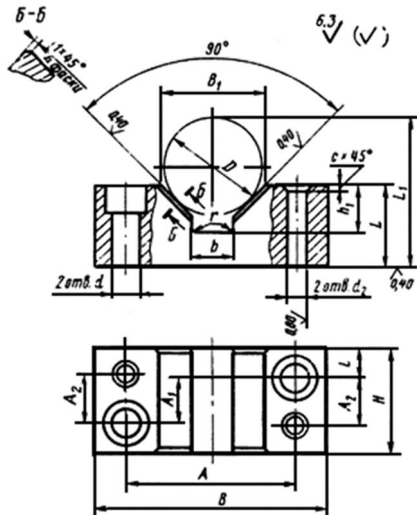


Рисунок 1 – Призма по ГОСТ 12195-66

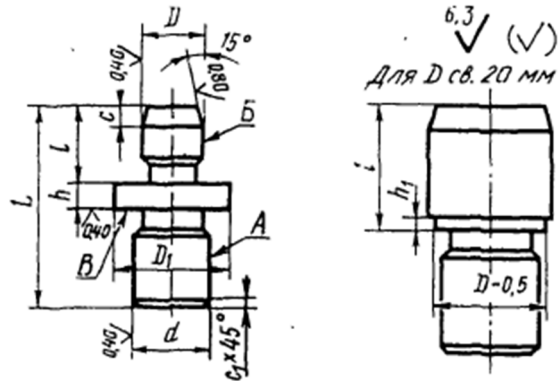


Рисунок 2 – Палец цилиндрический по ГОСТ 12209-66

Для работы с элементами, следует помнить, что элемент призма будет определять потребность решения технологической задачи, по этому данный элемент первичен в выборе, и как следствие следует в первую очередь исходя из задачи проектирования приспособления определиться с его геометрическими параметрами, в свою очередь выбор второго элемента – цилиндрический палец, будет вторичной задачей, т.к. критерий параметра выбора будет связан с соответствующим параметром первого элемента – диаметром посадочного отверстия призмы. Такое утверждение необходимо для определения последовательности обработки данных при выборе параметров элементов и введением их в расчетную модель построения. Для простоты моделирования процесса воспользуемся средствами MS Excel, которые позволяют сформировать таблицы параметров каждого из элементов с возможностью последующей работы с этими данными. Создадим файл, который будет передавать размерные параметры, взятые из стандарта. Возможность MS Excel дают возможность разделить информацию об объектах, разложив информацию по разным листам книги. На рисунке 3 показан пример представления данных для первого элемента.

Таблица исходных параметров ГОСТ 12195-66:

Обозначения призм	Диаметры деталей		H	L	B	B1	d	d2	A	A1	A2	l	h1	b	r	c
	от	до														
7033-0031	5	9	16	10	32	8	4,5	4	20	6	7,5	5	5	2	0,6	0,6
7033-0032	10	14	20	12	38	14	5,5	4	26	8	10	6	7	4	1	0,6
7033-0033	15	19	25	16	48	18	6,6	5	32	9	12	8	9	6	1	0,6
7033-0034	20	24	25	20	55	24	6,6	5	40	9	12	8	11	8	1	0,6
7033-0035	25	34	32	25	70	32	9	6	50	12	16	10	14	12	1,6	1
7033-0036	35	44	40	32	85	42	11	8	63	16	20	12	18	16	1,6	1
7033-0037	45	59	40	38	100	55	11	8	76	16	20	12	22	20	1,6	1
7033-0038	60	79	50	45	120	70	13	10	95	22	26	14	28	25	1,6	1,6
7033-0039	80	99	55	50	140	85	13	10	112	27	30	14	32	32	1,6	1,6
7033-0040	100	149	70	70	190	120	17	12	155	34	40	18	45	45	1,6	1,6

Рисунок 3 – Пример представления данных о призме ГОСТ 12195-66

При этом по сравнению с данными из ГОСТ, столбец «Диаметры деталей» задан не диапазоном методом, а разделен на две колонки и дает данные о предельных возможностях данного элемента. Данное преобразование исходных данных позволяет упростить работу с данными на следующем шаге при их обработке. В силу того решение по выбору того или иного типоразмера связано с величиной параметра диаметра заготовки, который будет устанавливаться на этот элемент приспособления, данные этих двух столбцов будут являться критерием выбора и однозначно определять строку данных параметров призмы для последующего описания. Для последующей обработки данных напишем программу на языке Python [3] (рис. 4).

```
wb = openpyxl.load_workbook('bd_elements.xlsx', data_only = True)
# получаем активный лист
sheet = wb.active
a = [0]*17
a1 = [0]*17
D = int(input('Введите величину диаметра='))
for j in range(25, 34):
    #q1 = sheet.cell(row = 3, column = 12).value
    q2 = sheet.cell(row = j, column = 2).value
    q3 = sheet.cell(row = j, column = 3).value
    #print (q2, q3)
    #print (D)
    if q3 > D >= q2:
        for i in range(1, 17):
            a[i]=sheet.cell(row = j, column = i).value
            a[0]='призма'
            a1[i]=sheet.cell(row = 23, column = i).value
```

Рисунок 4 – Программа получения данных параметров призмы для проектирования

Начало работы программы связано с опросом пользователя для какого диаметра заготовки производить поиск параметров призмы, на рисунке 4 представлен только фрагмент кода, и полученные данные из файла MS Excel, помещаются в массив для последующей выгрузки их в файл построения модели, продолжение кода программы делает поиск соответствующего элемента – цилиндрического пальца, по критерию посадочного диаметра, формируя при этом второй массив данных, который также переносится в файл последующего построения модели (рис. 5).

	0	Обозначения пр	Диаметры деталей	H	L	B	B1	d	d2	A	A1	A2	l	h1	b	c
призма	7033-0035	25	34	32	25	70	32	9	6	50	12	16	10	14	12	1,5
0	Обозначение	D	D1	d	L	l	h	h1	B	b	b1					
срезанны	7030-0924	6	8	12	8	20	8	3	0 D-1	2	3					
0	Обозначение	D	D1	d	L	l	h	h1	c	c1						
цилиндр	7030-0904	6	8	12	8	22	10	3	0	2	0,4					

Рисунок 5 – Выгрузка данных в файл построения модели проектирования

На основании полученных данных средствами MS Excel в файле формирования модели описания создаются зависимости для пересчета узловых точек построения. Количество этих зависимостей определяется потребностью проектирования [1] в зависимости от необходимости создания тех или иных видов при проектировании чертежа (рис. 6).

В первом столбце показаны координаты на которых лежат узловые точки построения объекта отображения. Второй столбец представляет собой формульные зависимости для расчета координат, с последующим их пересчетом средствами MS Excel. Последний столбец носит исключительно справочных характер, где определяется формула расчета соответствующей координаты, которая реализована во втором столбце. В результате полученных данных определяется принадлежность узловых точек построения расчетным координатам (рис. 7).

призма	x1	0	0
	x2	5	$x1+(A-B)/2-d/2-0,5$
	x3	5,5	$x1+(A-B)/2-d/2$
	x4	10	$x1+(A-B)/2$
	x5	14,5	$x1+(A-B)/2+d/2$
	x6	15	$x1+(A-B)/2+d/2+0,5$
	x7	19	$x1+(B-B1)/2$
	x8	29	$x1+(B-b)/2$
	x9	41	$x1+(B+b)/2$
	x10	51	$x1+(B+B1)/2$
	x11	55,5	$x1+B/2+A/2-d2/2-c$
	x12	57	$x1+B/2+A/2-d2/2$
	x13	60	$x1+B/2+A/2$
	x14	63	$x1+B/2+A/2+d2/2$
	x15	64,5	$x1+B/2-A/2+A+d2/2+c$
	x16	70	$x1+B$
	y1	0	0
	y2	11	$y1+L-h1$
	y3	17	$y1+L-h1+b/2$
	y4	20	$y1+L-5$

Рисунок 6 – Создание координатных зависимостей для определения узловых точек построения (показано фрагментарно)

P1	x1	y1
P2	x1	y6
P3	x2	y6
P4	x4	y6
P5	x4	y4
P6	x6	y6
P7	x7	y6
P8	x8	y3
P9	x8	y2
P10	x9	y2
P11	x9	y3
P12	x10	y6
P13	x11	y6
P14	x12	y5
P15	x13	y6
P16	x14	y5
P17	x15	y6
P18	x16	y6
P19	x16	y1

Рисунок 7 – Формирование узловых точек модели описания выбранного вида детали (показано фрагментарно)

В первом столбце указана точка со своим порядковым номером, в двух других столбцах указаны координаты этой точки в буквенном представлении, взятые из предыдущей таблицы (см. рис. 6). После этого в модели формируют отношения между узловыми точками с помощью определения примитивов связки (рис. 8).

Формат записи связки узловых точек определен дальнейшей обработкой данных, в случае если две точки связаны прямой линией, задается тип примитива «ЛИНИЯ» и дальше указываются точки, между которыми необходимо сделать построение примитива. Следует отметить, что построение элемента начинают для простоты с нулевых координат, но при описании следующего элемента, начальная точка построения будет смещена, а ее значение ее координат приравнивают к значениям координат соответствующей точки привязки предыдущего объекта.

ЛИНИЯ	P1	P2
ЛИНИЯ	P2	P7
ЛИНИЯ	P7	P8
ЛИНИЯ	P8	P9
ЛИНИЯ	P9	P10
ЛИНИЯ	P10	P11
ЛИНИЯ	P11	P12
ЛИНИЯ	P12	P18
ЛИНИЯ	P18	P19
ЛИНИЯ	P19	P1
ЛИНИЯ	P4	P26
ЛИНИЯ	P15	P21
ЛИНИЯ	P3	P29
ЛИНИЯ	P29	P23
ЛИНИЯ	P23	P6
ЛИНИЯ	P27	P28

Рисунок 8 – Формирование примитивов, связывающие узловые точки построения (показано фрагментарно)

В результате полученную модель описания соединения, полученную в файле MS Excel, обрабатываем с помощью программы на языке Python (см. рис. 4), которая переводит нам модель описания деталей и соединения в виде набора команд на язык AutoLISP [2] (рис. 9).

```

Введите величину диаметра=25
(setq old_ortho (getvar "ORTHOMODE"))
(setq old_snap (getvar "SNAPMODE"))
(setq old_grid (getvar "GRIDMODE"))
(setq old_dyn (getvar "DYNMODE"))
(setvar "ORTHOMODE" 0)
(setvar "SNAPMODE" 0)
(setvar "GRIDMODE" 0)
(setvar "DYNMODE" 0)
(setq x1 0 )
(setq x2 5 )
(setq x3 5.5 )
(setq x4 10 )
(setq x5 14.5 )
(setq x6 15 )
(setq x7 19 )
(setq x8 29 )
(setq x9 41 )
(setq x10 51 )

```

Рисунок 9 – Результат обработки данных модели описания соединения в формате языка AutoLISP

Программа написанная на Python обрабатывает построчно все элементы модели описания нашего соединения переводя это описание в формат языка построения AutoLISP. Полученный код, подставляем в редактор языка AutoLISP, который запускаем внутри AutoCADa. И запускаем полученный код на исполнение. В результате получаем графическое отображение требуемого вида отображения на чертеже (рис.10).

Результат работы полученного кода на языке AutoLISP дал результат соединения двух деталей и был получен элемент сборочного чертежа. Для проверки полученного результата проставим вручную интересующие размеры, чтобы сопоставить их с параметрами, приведенными в стандарте и удостовериться в правильности полученного решения построения в зависимости от исходного выбранного параметра.

Таким образом полученные результаты дали апробацию в рамках построения модели описания деталей и соединения их в чертеже, проверку правильности отработки программного кода Python для прочтения и перевода модели в формат языка AutoLISP для последующего графического построения.

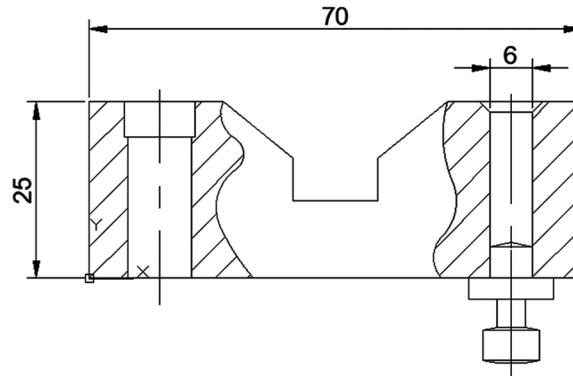


Рисунок 10 – Результат построенного соединения элементов оснастки

Список литературы:

1. Гололобов Д.В. Подготовка данных и описание деталей технологической оснастки при автоматизации процесса проектирования // Булатовские чтения : материалы VI Международно-практической конференции (31 марта 2022). В 2 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 157.
2. Сайт поддержки пользователей САПР под редакцией Виктора Ткаченко. [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.cad.dp.ua/kurs/LECTURE2/lecture2.html>
3. Openpplx. [Электронный ресурс]. – URL : <https://openpplx.readthedocs.io/en/latest/tutorial.html>

УДК 621.315.17

**СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА
И УСТРАНЕНИЯ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ВЛЭП****Даутов
Закария**Казанский государственный энергетический университет
бакалавр, студент
kakas@mail.ru**Маслов
Савелий Юрьевич**Казанский государственный энергетический университет
бакалавр, студент
saveli2000@gmail.com**Арсланов
Амир Динарович**Казанский государственный энергетический университет
аспирант кафедры «Теоретические основы электротехники»
arslanovad97@gmail.com

Аннотация. Для повышения надежности работы линий электропередачи в осенне-зимний период, становится актуальной задача предотвращения аварийных ситуаций, возникающих в результате оледенения проводов. В данной работе речь идет об автоматизированном комплексе мониторинга и устранения гололеда на ВЛЭП, служащей для предотвращения аварий, связанных с образованием опасных гололёдообразования на высоковольтных линиях электропередач. Описывается принцип работы системы отображения информации для данного комплекса.

Ключевые слова: система отображения информации, система мониторинга гололедообразования, высоковольтные линии электропередачи, предотвращение аварий на ВЛЭП, шестнадцатисегментная индикация.

Значительной проблемой для передачи электрической энергии на расстояния являются различные проблемы связанные с воздушными линиями электропередачи (ВЛЭП), в частности это касается гололедообразования на воздушных линиях электропередачи в осенний зимний период. Образования данного рода приводят к механическим перегрузкам, последствиями которых являются:

- опасное сближение проводов;
- обрыв проводов;
- раскачивание проводов, которое может привести их к замыканию;
- разрушение опор.

По причине актуальности данной проблемы возникает необходимость в создании системы мониторинга и устранения гололедообразования на ВЛЭП, для своевременного анализа состояния линии и устранения данных образований, путем их нагрева. Ниже приводится описание работы данного комплекса и блок-схема самой системы на рисунке 1.

С датчика, установленного на ВЛЭП, собираются данные о состоянии провода, угле провиса, токе и температуре провода. Далее, по каналу беспроводной связи полученная информация пересылается непосредственно в систему управления. В ней все параметры состояния провода анализируются, а далее по ним происходит регулирование работы блока плавки гололедообразований, при устранении изморози на ВЛЭП. В свою очередь данные о состоянии провода и плавки выводятся на панель индикации.

Блок осуществляющий непосредственно плавку гололёдообразований включает в себя тиристорный выпрямитель, преобразующий переменный электрический ток в

постоянный; инверторы, необходимые для повышения предельных значений выходного напряжения и тока; а также модуль сбора данных, который измеряет параметры установки. В процессе плавки состояние провода отслеживается в реальном времени с помощью датчика на линии. Данные анализируются и при отсутствии проблем работа модуля плавки останавливается. Для удобства анализа и наглядного представления этих данных для диспетчеров была разработана система отображения информации, представленная на рисунке 2.

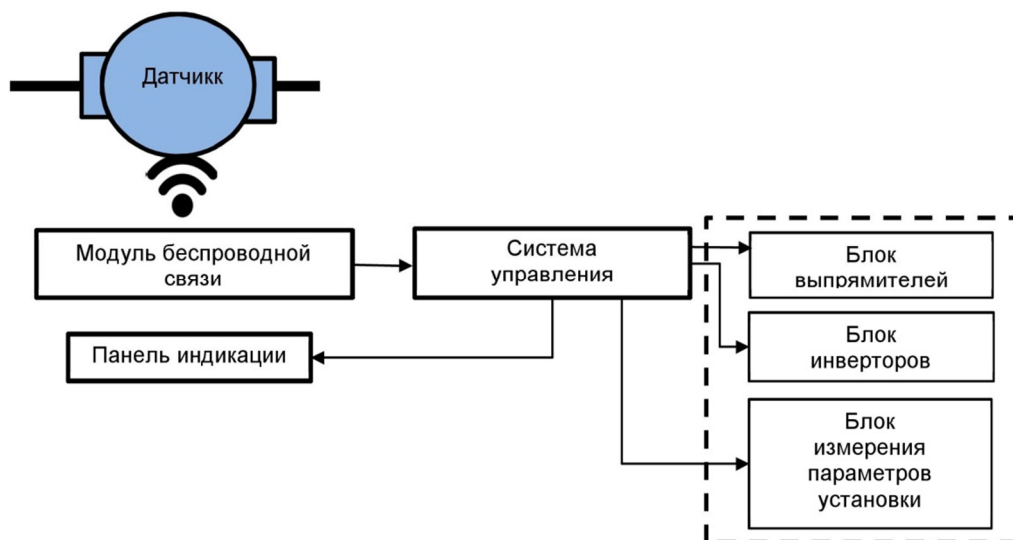


Рисунок 1 – Блок-схема системы мониторинга и плавки гололедообразований на ВЛЭП



Рисунок 2 – Система отображения информации для автоматизированного комплекса плавки и мониторинга гололедообразований на ВЛЭП

Устройство работает следующим образом. Панель индикации подключается к плате управления автоматизированным комплексом диагностики и устранения гололедообразования посредством интерфейса UART. Надпись, которая будет написана на панели передается в виде 32-х символьной строки в кодировке ASCII.

На (рис. 3) представлена схема, составленная в среде моделирования Proteus, которая была использована для отладки работы панели. На ней видно типовое подключение элементов устройства. Аппаратное управление 16-сегментными индикаторами в данной панели происходит с помощью 16-ти разрядных сдвиговых регистров, которые каскадируются друг за другом, а первый элемент цепи подключается к микроконтроллеру, управляющему дисплеем, по последовательному интерфейсу SPI.

В управляющем ПО микроконтроллера предусмотрен программный модуль для преобразования входящей строки в отдельные пакеты битов, с помощью которых задается состояние сегментов на индикации.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (соглашение № 075-03-2022-151 от 14.01.2022).

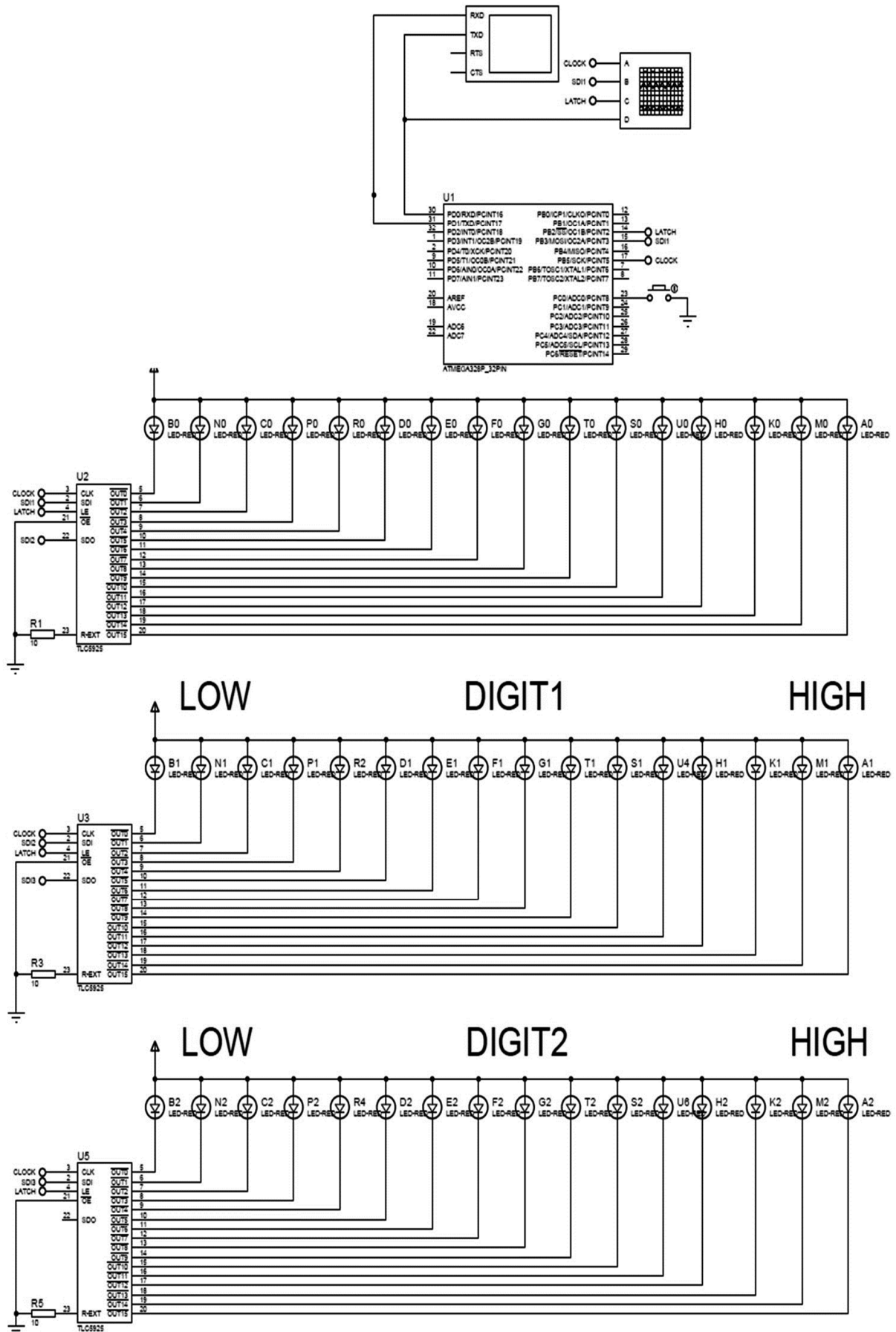


Рисунок 3 – Схема моделирования работы семнадцати сегментных индикаторов

Список литературы:

1. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов / Э.Ю. Абдуллазянов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – № 23(6). – С. 3–15.
2. Бучинский В.Е. Гололед и борьба с ним. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 68 с.
3. Дьяков А.Ф., Засыпкин А.С., Левченко И.В. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях энергосистем. – Пятигорск : Изд-во РП «Южэнерготехнадзор», 2000. – 284 с.
4. Левченко И.И. Плавка гололеда на проводах и тросах воздушных линий высокого напряжения : учебное пособие. – М. : Издательство МЭИ, 1998. – 44 с.
5. Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. конф. (Казань, 28–29 апреля 2020 г.) / Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 636 с.
6. Стороженко Д.Ю., Рыжков А. В. Совершенствование методики применения устройств встроенной диагностики контактной сети // Известия Транссиба. – 2016. – № 4. – С. 37–46.
7. Методика мониторинга гололедных отложений на проводах ВЛ с учетом разрегулировки линейной арматуры / Д.А. Ярославский [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2017. – № 5–6. – С. 89–97.

УДК 535.34.083.2:538.56

**МЕХАТРОННЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПМР
И КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ ЕГО ИЗМЕРЕНИЙ****Кашаев
Рустем
Султанхамитович****Казанский государственный энергетический университет**
доктор технических наук, профессор
kashaev2007@yandex.ru**Овсеенко
Галина Анатольевна****Казанский государственный энергетический университет**
магистр, ассистент
galinka.ovseenko@gmail.ru**Козелков
Олег Владимирович****Казанский государственный энергетический университет**
кандидат технических наук, доцент
ok.1972@list.ru

Аннотация. В статье исследована возможность использования искусственных нейронных сетей для контроля надежности и достоверности параметров работы блоков аппаратно-программного комплекса на основе метода протонной магнитной резонансной релаксометрии. Получены критерии контроля параметров надежности и достоверности измерений свойств нефтяных дисперсных систем релаксометром при использовании нейронных сетей для анализа нефтей.

Ключевые слова: нейронные, сети, аппаратный, программный, магнитный, резонанс, релаксометрия.

Введение и постановка задачи исследования

Создание цифрового месторождения (ЦМ) с контролем и управлением нефтедобычей и подготовкой сырья с экспресс-контролем автоматизированным многопараметрическим аппаратно-программным комплексом (АПК) [1] характеристик скважинной жидкости, нефти и воды актуализирует распоряжение правительства РФ № 1632 о «создании экосистемы цифровой экономики на базовых направлениях: новые производственные технологии и компоненты робототехники». Целью работы является повышение надежности АПК и достоверности измерений отдельных узлов и блоков в комплексе АПК (релаксометра ПМР) цифровыми методами через искусственные нейронные сети (ИНС), преимуществом которых является возможность обучения с исключением «промахов», определяются параметры надежности и делать выводы о исправном функционировании блока и достоверности контроля.

Описание метода решения задачи

Прикладная интерпретация и иллюстрация полученных результатов

Заключение, включающее обобщение и указание области применения полученных результатов, не повторяющим аннотацию и не ограничивающимся простым перечислением того, что сделано в работе.

Надежность радиоэлектронной аппаратуры – важнейший параметр, особенно в такой взрыво-пожароопасной технологии, как нефтедобыча.

Как известно, вероятность отказа Q определяется выражением:

$$Q = \int f(\Delta x) d\Delta x = \Phi[(x-y)/(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{1/2}], \quad (1)$$

где $\Delta x = (x - y)$ – запас прочности, равный разности между прочностью x и нагрузкой y , условие отказа $\Delta x \leq 0$, $f(\Delta x)$ – начальное распределение запаса прочности, σ_x^2 и σ_y^2 – среднеквадратические отклонения распределений прочности и нагрузки, $\Phi(z) = (1/\sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^z \exp(-\xi^2/2) d\xi$, с пределами интегрирования от $-\infty$ до z .

В результате процессов деградации элементов блоков АПК под воздействием окружающей среды, например повышенной температуры, запас прочности от времени меняется по закону:

$$dQ/dt = (dQ/\Delta dx)(d\Delta x/dt) = f(\Delta x)d\Delta x/dt, \quad (2)$$

где $d\Delta x/dt$ – скорость изменения запаса прочности.

Наиболее распространенными деградационными процессами являются химические реакции, диффузия, электромиграция, эрозия, ускоряющиеся при повышенных абсолютных температурах T , константы скорости которых могут быть описаны уравнением Аррениуса:

$$k = A \exp(-E_A/RT), \quad (3)$$

где A – константа, E_A – энергия активации процесса, R – газовая постоянная.

Тогда среднее время t_{cp} до отказа составит:

$$t_{cp} = C \exp(E_A/RT), \quad (4)$$

Для определения констант ур. (4), надо провести испытания при не менее, чем при двух значениях температуры T_1 и T_2 , определить времена отказов t_{01} и t_{02} при данных температурах, рассчитать C и E_A по уравнениям:

$$E_A = R(T_1^{-1} - T_2^{-1}) \ln(t_{01}/t_{02}), \quad (5)$$

$$C = t_{01} \exp(-E_A/RT_1) \quad (6)$$

и определить среднее время t_{cp} до отказа данного блока АПК, что позволит прогнозировать отказ и наметить момент его плановой диагностики.

На следующем этапе для диагностики и контроля достоверности работы блока АПК – релаксометра ПМР, вводя понятие недостоверности измерений характеристик нефтяных дисперсных систем (НДС) – скважинной жидкости, нефти и сточных вод по ПМР-параметрам: временам спин-спиновой релаксации T_{2Ai} , T_{2Bi} , T_{2Ci} , населенностям протонов P_{2Ai} , P_{2Bi} , P_{2Ci} , и амплитудам сигналов спин-эхо A_{Ai} , A_{Bi} , A_{Ci} , как выход общей погрешности измерения $\delta_{и}$ за допустимые границы. В качестве $\delta_{и}$ взято одно или несколько свойств НДС – расход, влажность, плотность, вязкость, дисперсное распределение капель воды и нефти, молекулярная масса, концентрация солей и нефти в сточных водах.

Определение достоверности измерений релаксометром ПМР в составе АПК [2] осуществляется используя метод контроля функционирования измерительной системы по технологии клиент-сервер [3]. Клиентская часть располагается на месте нахождения АПК. Серверная часть системы располагается на персональном компьютере оператора.

Алгоритм работы системы контроля функционирования комплекса измерения ПМР-параметров, использующего информационные нейронные сети (ИНС), состоит в следующем:

1. В информационную сеть посылается команда запомнить вектора текущих экспериментальных данных по измерениям ПМР-параметров:

$$N_{ij} = [T_{2Ai}, T_{2Bi}, T_{2Ci}, P_{2Ai}, P_{2Bi}, P_{2Ci}, A_{Ai}, A_{Bi}, A_{Ci}], \quad (7).$$

где $j = A, B, C$ – молекулярные фазы НДС, соответствующие параметрам.

2. Данные многопараметрического вектора измерений N_{ij} обрабатываются по формулам разделения огибающей сигналов спин-эхо на компоненты:

$$A_i = \sum A_{0j} \exp(-t/T_{2j}), \quad \text{где } j = A, B, C, \quad (8)$$

$$\ln(A_i/A_0) = -t/T_{2i} + \ln A_i. \quad (9)$$

Разности экспериментальных значений ПМР-параметров N_{ij} экспериментально определенных из амплитуд спин-эхо (СЭ) из ур. (8, 9) и теоретическими значениями N_{ijT} , описываемыми распределением времен релаксации $P(T_{2AT}, T_{2BT}, T_{2CT})$, получаемыми решением уравнения Fredholm первого рода (см. например работу [4]), формируют текущий вектор N_{it} :

$$N_{it} = [|A_{2AЭ} - A_{2AT}|, |A_{2AЭ} - A_{2AT}|, |A_{2AЭ} - A_{2AT}|, |T_{2AЭ} - T_{2AT}|, |T_{2BЭ} - T_{2BT}|, |T_{2CЭ} - T_{2CT}|, \\ |P_{2AЭ} - P_{2AT}|, |P_{2AЭ} - P_{2AT}|, |P_{2AЭ} - P_{2AT}|, |]. \quad (10)$$

3. Вектор N_{it} обрабатывается ИНС для определения соответствия режиму работы релаксометра ПМР и вывода заключения о работе релаксометра в виде вектора $N_{out} = [\text{«Норма»}, \text{«Неправильно»}, \text{«Неопределенность»}]$.

4. Результаты контроля выводятся на монитор оператора, а также сохраняются в базе данных для принятия дальнейших решений.

Отклонение параметров представляется в виде:

$$\alpha_N = (N_{ij} - N_{jT}) \cdot 100 \%, \quad (11)$$

которое при правильной работе релаксометра ПМР соответствует $\alpha_N \approx 0$, а также, когда $|\alpha_N| \leq 3\sigma$, где σ – среднеквадратическое отклонение. Отклонения постоянных времени экспоненциальных процессов дают также информацию о нарастании или даже возникновении дефектов и отказов в блоке, т.е. об устойчивости систему управления блоком измерительного комплекса – релаксометра ПМР [5].

Для определения достоверности ПМР-параметров надо определить функцию зависимости достоверности, наиболее подходящую для данного случая. Математическую модель для нормального стандартного отклонения $\sigma_{\text{норм}}$ решено искать в виде универсальной степенной зависимости, описываемой в работе [6]. Методом Крамера, получено:

$$\sigma_{\text{норм}} = 0,65N^{0,12}_{\text{норм}}. \quad (12)$$

Для решения задачи верификации текущего многопараметрического измерения использован математический пакет Statistica 10, позволяющий формировать искусственные нейронные сети разной конфигурации.

Определение динамики изменения технического состояния аппаратуры является более важным, чем контроль начала возникновения неисправности и отказа [7], поскольку при контроле развития/неразвития отказа отпадает необходимость в отключении измерительного комплекса на ремонт. Сильная динамика развития дефекта требует принятия безотлагательных мер.

Предвестниками отказов принято считать физические процессы, создающие сигналы, свидетельствующие о возникновении в электронном элементе дефектов или деградиационных процессов, повышающих вероятность отказа через определенное время. К числу таких эффектов относят экзотические эффекты, изменения спектров излучения и др. Знание предвестников позволяет обеспечивать безотказность включением резервов характеристик аппаратуры, использование неразрушающих методов анализа: электрохимического, электронной, инфракрасной, металлографической и оптической микроскопии, масспектроскопии и рентгеноспектрального анализа.

Почти в любой области измерений значение сигнала определяется помехой (шумом), который подавляет полезный сигнал. Искажение, производимое помехой, может привести к тому, что передаваемый сигнал будет не опознан или принят за другой. Даже если измеряемая величина велика, шум снижает точность измерения. Некоторые шумы неустранимы (напр. флуктуации измеряемой величины), и их устраняют методами усреднения сигнала и сужения полосы. Другие шумы (напр. радиочастотные) уменьшают фильтрацией, а также выбором расположения проводов и элементов схем.

«Джонсоновский шум». Любой резистор генерирует на «шум Джонсона» (тепловой шум). Он имеет горизонтальный частотный спектр, т.е. одинаковый по мощности шума на всех частотах. Его называют «белым шумом». Напряжение шума в незамкнутой цепи, порожденное сопротивлением R , находящимся при температуре T , выражается формулой:

$$U = U_R = (4kTRB)^{1/2}, \quad (2.1)$$

где k – постоянная Больцмана, B – полоса частот в герцах. При комнатной температуре (293 К) $(4kTR)^{1/2} = 1,27 \cdot 10^{-10} R^{1/2}$. Шум Джонсона устанавливает нижнюю границу напряжения шумов схемы с резистивными элементами.

Дробовой шум. Электрический ток представляет собой движение электронов, конечность заряда которых приводит к флуктуациям тока:

$$I_{\text{ш.эфф.}} = I_{\text{ш.Р}} = \sqrt{2qI_{\text{пост}}B}, \quad (2.2)$$

где q – заряд электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), $I_{\text{пост}}$ – установившееся значение тока.

Шум 1/f (фликкер-шум). Реальные устройства имеют источники дополнительных шумов. Резисторы подвержены флуктуациям сопротивления, которые порождают шум, пропорциональный протекающему через резистор постоянному току. Этот шум зависит от резистивного материала и соединений. Этот шум имеет спектр, примерно описываемый зависимостью $1/f$ (постоянная мощность на декаду частоты) и называется «розовым шумом».

Одной из форм шумов являются паразитные наводки по цепям питания и заземления. Наводка от сети 50 Гц имеет спектр в виде пика (или ряда пиков), а шум грозовых разрядов имеет широкий спектр и всплески амплитуды. Другим источником помех являются радио- и телепередающие станции, окружающее электрооборудование. От них защищаются экранированием.

Для борьбы с помехами уменьшают сигнал помехи, но имеет смысл повысить отношение сигнал/шум. Влияют также внешние условия, среди которых следует избегать: соседство радио- и телестанций (РЧ-помехи), линий метро, высоковольтных линий, лифтов и электромоторов, регуляторов освещения и отопления, трансформаторов, электросварочных аппаратов.

Защита от повышенного напряжения на входе ОУ

Чаще всего она обеспечивается встречно-параллельным включением диодов между ОУ (рис. 1,а). При значениях дифференциальных напряжений, соответствующих линейному режиму работы ОУ (обычно это доли мВ), сопротивление диодов (даже прямое), составляет несколько Мом. Поэтому диоды практически не проводят ток и не влияют на режим работы цепи с ОУ. Однако, большие входные сигналы переводят диоды в проводящее состояние. При этом дифференциальные напряжения будут ограничены несколькими сотнями мВ (прямое падение напряжения на $p-n$ -переходе). В некоторых ОУ эти диоды встраиваются непосредственно в кристалл, например 140УД14, причем последний содержит также входные резисторы по 5 кОм, т.к. на максимально допустимые токи через диоды накладываются ограничения.

Защита от короткого замыкания на выходе ОУ

Многие ОУ имеют встроенную защиту от КЗ, допускающую работу усилителя в этом режиме неограниченное время. Но не все. Так, прекрасный ОУ ОР162 для целей достижения широкой полосы единичного усиления (она у него составляет 15 МГц) не имеет такой защиты. Там, где такая защита необходима, можно включить последовательно с выходом ОУ резистор (рис. 1,б), который обязательно должен быть включен в контур обратной связи. Тогда динамическое выходное сопротивление останется достаточно низким. Для ОУ ОР162, максимально допустимый ток которого 30 мА, при однополярном питании 5 В рекомендуется применять резистор в 160 Ом. Однако подключение резистора к выходу ОУ сужает диапазон выходных напряжений ОУ при работе под нагрузкой.

Защита от синфазного перенапряжения на выходе

Схема неинвертирующего ОУ с защитой приведена на рисунке 1,в. Если входное напряжение выходит за границы питающих напряжений V_S , то один из диодов открывается и напряжение на неинвертирующем входе ОУ фиксируется на уровне соответствующего питающего напряжения. Но при этом входной ток начинает течь в источник питания. Если источник входного сигнала мощный, то его входной ток окажется больше тока всех потребителей данного источника питания (ИП). Если источником питания является стабилизатор напряжения, то его регулирующий транзистор перейдет в режим насыщения, и начнется неконтролируемый подъем напряжения на нагрузке, что может вывести ее из строя. Поэтому надо ограничить это напряжение, например, включив в цепь питания стабилитрон (рис. 1,г).

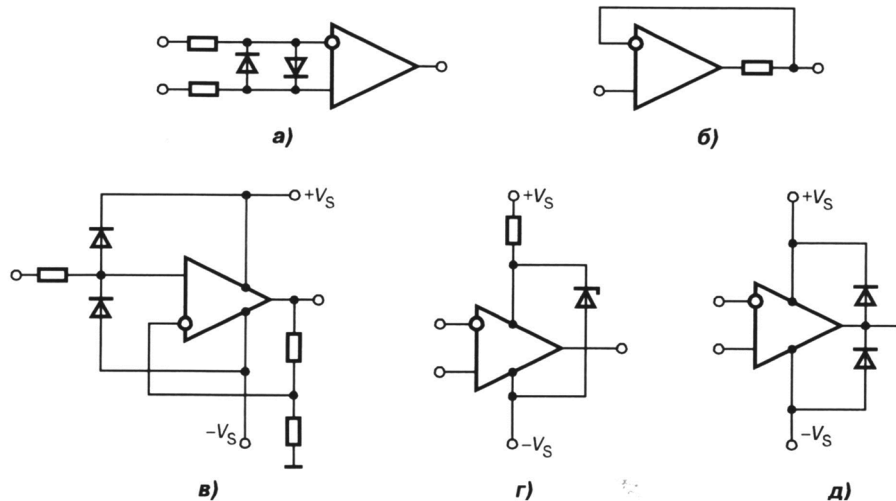


Рисунок 1 – Схемы защиты ОУ: а) схема диодной сборки; б) защита от КЗ на выходе; в) защита от синфазного напряжения; г) защита от перенапряжения питания; д) защита от перенапряжения на выходе

Если нагрузка ОУ имеет индуктивный характер, то при больших скоростях нарастания выходного тока ОУ возможны перенапряжения на выходе. В этом случае выход ОУ соединяют через диоды с выводами питания (рис. 1,д).

Снижение шума операционного усилителя

Все основные виды шумов в электронных схемах являются центрированными (т.е. с нулевым математическим ожиданием) и нормальным распределением. Поэтому снижение уровня (среднеквадратического значения – СКЗ) шума производят путем временного или пространственного усреднения.

Временное усреднение осуществляется путем ограничения полосы пропускания канала усиления сигнала с помощью фильтра нижних частот или полосового фильтра. Как известно, уменьшение полосы пропускания в 4 раза вызывает снижение СКЗ шума в 2 раза. Поэтому в области частот $< 0.1 \dots 10$ кГц, где шум типа $1/f$ соотношение будет иным.

На рисунке 2 представлена схема параллельного соединения ОУ для снижения шума.

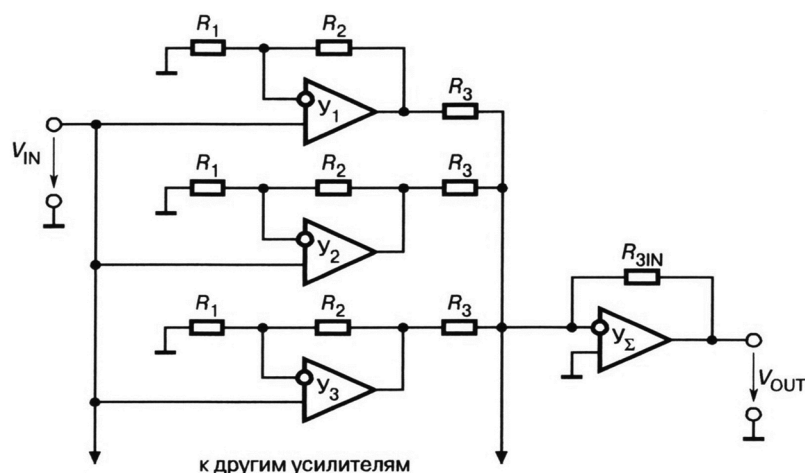


Рисунок 2 – Параллельное соединение ОУ для снижения шума

Диагностические свойства низкочастотных (НЧ) электрических флуктуаций (в частности – шума) является одним из эффективных методов неразрушающего контроля многих видов оборудования электронной техники и автоматики [Златоустов С.В., Острова С.О., Асадуллина В.Р. Измерение токовых шумов как метод контроля качества микропленочных резисторов // Радиозлектроника. – 1970. – Т. 13. – № 9. – С. 1124–1129]. НЧ-шум

(НЧШ) возникает в структуре или контактах только при протекании электрического тока, и его спектральная плотность прямо пропорциональна току и обратно пропорциональна частоте, и позволяет косвенно обнаруживать наличие внутренних дефектов и процессов деградации, приводящим к отказам.

С одной стороны, НЧШ – интегральная характеристика изделия, коррелирующая с его характеристиками, определяющими его безотказную работу, с другой стороны НЧШ связан с параметрами проводящей среды и его спектр и уровень меняются от частоты тока при техпроцессе.

Проводимость резистивного слоя неоднородна, и НЧШ зависит от флуктуаций проводимости, которые невозможно определить иными методами. Полагая, что НЧШ доминирует на низких частотах ($f < 10^6$ Гц), можно рассмотреть его с применением уравнений Максвелла:

$$\operatorname{div}(\sigma E) = 0, E = -\operatorname{grad}\phi, \quad (1)$$

где E и ϕ – напряженность и потенциал электрического поля, σ – удельная проводимость образца, зависящая от пространственной неоднородности и температуры, средней по образцу удельную статистической проводимости σ_0 , прямой омической проводимости $\xi(r)$ и относительной флуктуационной составляющей проводимости $\zeta(r, t)$;

$$\sigma(r, t) = \sigma_0[1 + \xi(r) + \zeta(r, t)]. \quad (2)$$

Можно представить $\xi(r)$ и $\zeta(r, t)$ как:

$$\xi(r) = \sigma(r)/\sigma_0 - 1, \text{ и } \zeta(r, t) = [\sigma(r, t) - \sigma(rt)]/\sigma_0. \quad (3,4)$$

Общих методов решений уравнений (3,4) нет, но из-за малости этих параметров возможно их решение методом малых возмущений. Выберем образец прямоугольной формы со сторонами a, b и граничные условия: $\phi_{x=0} = V_1, \phi_{x=a} = V_2, (d\phi/dy)_{y=0} = (d\phi/dy)_{y=b} = 0$. Решение уравнений ищем в виде $\phi = \phi_0 + \phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_n$, плотность тока вычисляем как $j = -\sigma \nabla \phi$. Решение ур. (1) ищем в виде разложения в ряд, пропуская выкладки, для плотности флуктуаций тока, имеем выражение:

$$(I_{\phi n})_f = I_0^2 G^{\zeta}(f) [\pi \rho_{\zeta}^2 / V] [1 + (3/2) \langle \xi^2 \rangle_V \rho_{\xi}^2 / (\rho_{\xi}^2 + \rho_{\zeta}^2)], \quad (5)$$

где I_0 – средний ток через образец, $G^{\zeta}(f)$ – составляющая автокорреляционной функции, $\rho = |r_1 - r_2|$, r_1 и r_2 – радиус-вектора между рассматриваемыми точками в образце в корреляционной функции $G^{\zeta}(\rho) = \langle \xi(r_1) \zeta(r_2) \rangle$, V – область образца, $\langle \xi^2 \rangle_V$ – квадрат средней неоднородности удельной проводимости, ρ_{ξ} и ρ_{ζ} – удельные омическая и флуктуационная проводимости.

Таким образом, из ур. (5) следует, что уровень шума пропорционален отношению площади области с размерами порядка радиуса корреляции флуктуаций к полной площади образца; увеличение шума, обусловленное неоднородностью, пропорционально квадрату средней относительной неоднородности, причем увеличение плотности флуктуационного тока максимально при $\rho_{\xi} \gg \rho_{\zeta}$. Несмотря на ряд допущений, формула показывает характер зависимости уровня шума от параметров исследуемой структуры.

Есть еще один способ выявления дефектов по шуму. Алгоритм процесса выявления динамики развития дефектов таков: в исправном состоянии комплекса строится доверительный интервал для математического ожидания помехи, и составляет множество значений признаков отказа в этом интервале. Спустя некоторое время процедура повторяется. При возникновении неисправности ширина доверительного интервала увеличивается. Ищут разности значений математических ожиданий признаков отказа в предыдущий и настоящий моменты времени, выявляют соответствие значений этих разностей и степень развития неисправностей и динамику их развития во времени. Затем делаются выводы: «неисправность развивается с равномерной интенсивностью», «неисправность развивается интенсивно», «неисправность развивается опасно интенсивно», и в зависимости от сделанных выводов проводятся профилактические или ремонтные работы с остановкой комплекса или без.

Список литературы:

1. Тихомирнов Л.И. Цифровизация: ключевые факторы успеха // Нефтегаз. – 2019. – Вып. 1–2. – С. 142–143.
2. Козелков О.В., Кашаев Р.С. Приборные и мехатронные комплексы в нефтяной промышленности и энергетике : монография. – Махачкала : «Апробация», 2019. – 112 с.
3. Солдатов А.А. Автореф. дисс. ... к.т.н. – Казань : КНИТУ-КАИ, 2018. – 22 с.
4. New Approach to Analyze 2D Map T1-T2 / E.I. Uskova [et al.] // Appl. Magn. Res. – 2020. – V. 51. – P. 183–193.
5. Оценка областей экспоненциальной устойчивости нелинейных динамических систем / В.В. Григорьев [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. – № 21(3). – С. 131–135. – URL : <https://doi.org/10.17587/mau.21.131-135>
6. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.
7. Алиев Г.А., Мусаева Н.Ф., Сулейманова М.Т. Алгоритмы построения доверительного интервала для математического ожидания помехи и их применения для контроля динамики развития аварий // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. – № 20(9). – С. 521–529. – URL : <https://doi.org/10.17587/mau.21.521-529>

УДК 621.314.58

О СКВОЗНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**Князев
Алексей Сергеевич****Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
старший преподаватель кафедры авиационного радиоэлек-
тронного оборудования
knyazev.aleksei.87@gmail.com**Самородов
Александр Валерьевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и
электрических машин
alex.samorodoff@gmail.com**Энговатова
Валентина Витальевна****Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры физики и электротехники
udachaevv@mail.ru**Шавернев
Иван Сергеевич****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
shavernev.ivan@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено сквозное проектирование электромеханических устройств, описаны первый и второй этапы сквозного проектирования электрических машин. Описаны способы реализации этапов сквозного проектирования синхронных ЭМ с ПМ путём автоматического построения трёхмерных моделей ЭМ в программе Maxwell 16.

Ключевые слова: сквозное проектирование, электрическая машина, постоянный магнит, методика проектирования.

Анализ программных средств, используемых для проектирования электрических машин (ЭМ) показал, что можно выделить четыре этапа сквозного проектирования [1]. На первом этапе используются некоммерческие программы, разрабатываемые самими предприятиями самостоятельно. Задача этого этапа – расчет основных параметров ЭМ: машинных постоянных, параметров обмоток ротора и статора, выбор рабочих частот, числа полюсов, их типов, и пр. После выполнения этого этапа конструктор может приступить ко второму этапу – созданию САД модели ЭМ и отдельных ее частей, с различной детализацией. Этот этап проектирования подразумевает физическое моделирование различных процессов электрической машины. Сюда входит моделирование электромагнитных полей [2–5 и др.], расчет распределения тепла, переходных процессов, и т.д., с целью проверки или оптимизации отдельных показателей [6 и др.]. К сожалению, далеко не все элементы ЭМ можно выбрать или рассчитать без привлечения дополнительно разработанных программных средств. Например, практически невозможно пользуясь только программами общего назначения выполнить расчет механических показателей валов и осей, выбор подшипников, изоляции и проводов для обмоток. Поэтому использование специальных программ и баз данных для выбора и/или расчета дополнительных компонентов можно выделить как третий этап проектирования.

Заключительным этапом проектирования можно назвать так называемую виртуальную эксплуатацию. На этом этапе выполняется моделирование готового изделия в предполагаемых условиях работы. Виртуальная эксплуатация позволяет отладить управляющие программы, системы защиты, согласовать условия обслуживания и пр. Выявленные проблемы устраняются на этапе проектирования. При изготовлении относительно дорогостоящих прототипов сокращается время на поиск и устранение непо-

ладок, сокращается количество отказов и поломок оборудования, ускоряется процесс поиска программных и конструктивных решений [7].

Сопоставление программ расчётов отдельных частей, узлов ЭМ, накопление банков данных, решение вопроса создания автоматизированной системы проектирования ЭМ – одна из трудных и важных задач электротехнической науки. Проектирование ЭМ предполагает выполнение специальных расчетов (электромагнитного, теплового, прочностного, вентиляционного, конструктивного) для всех единиц, составляющих машину. Однако, из существующего многообразия методик проектирования и большого количества специализированного программного обеспечения сложно найти подходящую методику расчёта, выбрать программное обеспечение, разобраться в его интерфейсе и особенностях работы с ним.

Разработанная методика, реализованная в среде Delphi 7 в виде программы для ЭВМ, позволяет выполнять расчёт в автоматизированном режиме, поэтому она является реализацией первого этапа сквозного проектирования синхронных ЭМ с постоянными магнитами [1].

Для реализации второго этапа разработаны скрипты для программы Ansys Maxwell 16, позволяющие в автоматическом режиме создать трёхмерную модель ЭМ, как показано на рисунке 1. В среде Delphi 7 разработана программа, которая на основе результатов расчётов создает скрипты с расчётными значениями некоторых параметров ЭМ для построения трёхмерной модели.

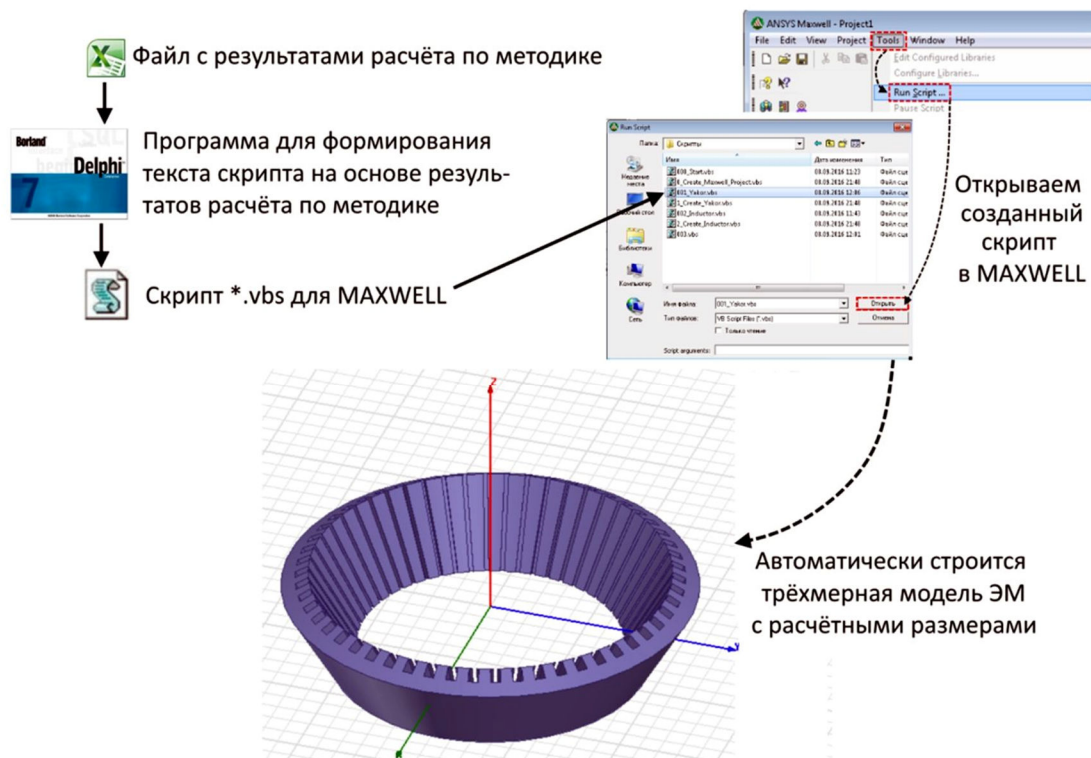


Рисунок 1 – Построение конического магнитопровода якоря с углом наклона воздушного зазора к оси вращения ротора 30° в программе «Ansys Maxwell 16»

Таким же образом формируется полная трёхмерная модель ЭМ, содержащая обмотку якоря, магнитопроводы якоря и индуктора, а также постоянные магниты.

После завершения создания и проверки модели она передаётся в программу «Ansys Workbench 14.5» для выполнения связанного анализа (электромагнитного, теплового, прочностного, вентиляционного) (рис. 2).

Программа «Ansys Workbench 14.5» позволяет использовать результаты одного анализа как исходные данные для другого. Электромагнитный анализ выполняется в программе «Ansys Maxwell 16», после чего его результаты передаются для теплового анализа в модуль «FluidFlow (Fluent)» в виде потерь на нагрев в обмотках и потерь от вихревых токов, которые учитываются при тепловом и вентиляционном анализе, а также для проч-

ностного анализа в модуль «Transient Structural» в виде электромагнитных моментов для учёта электромагнитных сил, стремящихся деформировать ЭМ при вращении ротора.

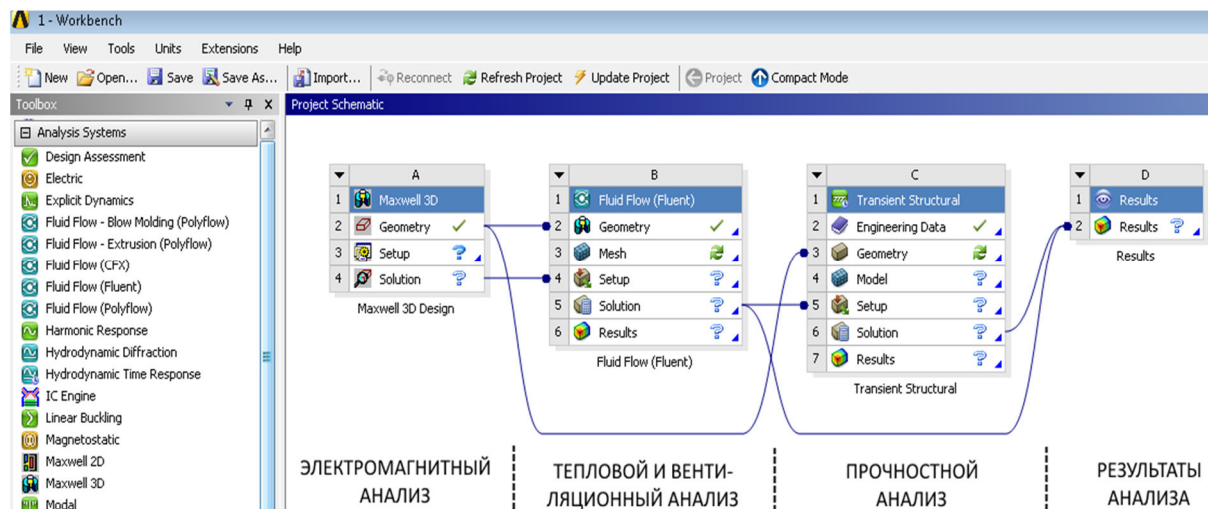


Рисунок 2 – Связанный анализ в программе «Ansys Workbench 14.5»

Использование скриптов позволяет автоматизировать переход от первого ко второму этапу сквозного проектирования ЭМ. Полная реализация второго этапа требует специализированной подготовки и не может быть упрощена в общем случае. Третий и четвертый этапы сквозного проектирования данное исследование не затрагивает.

Таким образом, разработанная методика проектирования синхронных ЭМ с постоянными магнитами, а также скрипты для автоматического построения трёхмерных моделей в программе «Ansys Maxwell 16» являются значительным вкладом в развитие и реализацию сквозного проектирования синхронных ЭМ [1].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230009 p_a.

Список литературы:

1. Сквозное проектирование синхронных электрических машин с постоянными магнитами / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Естественно-математические и технические науки» – Майкоп : Изд-во АГУ, 2016. – Вып. 3 (186). – С. 114–121.
2. Разработка математической модели электромагнитных и электромеханических переходных процессов в аксиальных многофазных генераторных установках / Б.Х. Гайтов [и др.] // научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 76(02). – С. 2–11.
3. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Т.Б. Гайтова [и др.] // Известия вузов. Электромеханика. – 2013. – № 3 – С. 16–23.
4. Иванов-Смоленский А.В. Универсальный метод расчёта электромагнитных процессов в электрических машинах. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 216 с.
5. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учебник для вузов. – 3е изд. – М. : Высш. шк., 2001. – 327 с..
6. Prashant Kumar S., Chinamalli Naveen T.S., Shankar C.B. Chinamalli Power loss minimization of permanent magnet synchronous generator using particle swarm optimization // International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). – 2012. – Vol. 2. – Issue. 6, Nov-Dec. – P. 4069–4076.
7. Цепковский Ю., Шмукер У. Система автоматизированного проектирования электрических машин: сборник научных трудов // Вестник НТУ ХПИ. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков : Изд-во НТУ ХПИ. – 2010. – С. 434–435.
8. Копылов И.П., Горяинов Ф.А., Клоков Б.К. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.

СЕКЦИЯ 4.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НИР**

УДК 378

**ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В СИСТЕМЕ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ****Багдасарян Р.Х.****Краснодарский государственный институт культуры**
кандидат технических наук, доцент
rafael_555@mail.ru**Рева Е.С.****Краснодарский государственный институт культуры**
бакалавр
79673149269@mail.ru**Енгибарян Ж.Р.****МАДОУ МО «Детский сад № 130» г. Краснодар**
воспитатель
zhanna.engibaryan@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматривается степень внедрения инклюзивного образования в России и применение ИКТ в данном процессе. Так же анализируется необходимость в обращении внимания на проблемы адаптации детей с особыми потребностями, что позволит им чувствовать себя такими же членами общества, как остальные люди.

Ключевые слова: инклюзия, образование, адаптация, обучение.

В образовательные системы всего мира уже более двадцати лет внедряются идеи интегрированного обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья. Демократические установки современного мира обусловили формирование «безбарьерной» среды для различных групп населения (пожилые люди, инвалиды, социально не защищённые слои населения). Данная среда формируется из целого ряда компонентов, например: доступность к общественному пространству, различным учреждениям: культуры, здравоохранения и спорта [1]. Задача инклюзивного образования состоит не только в том, чтобы предложить систему обучения, адекватную требованиям современного мира, но и в том, чтобы предоставить «площадку» для социальной интеграции и адаптации детей с особыми потребностями.

Как отмечает Р. Оксоби [2], инклюзия является одним из факторов, определяющих доступность индивида к социальным институтам и ресурсам в той среде, где принимаются решения. В целом инклюзивный подход предполагает следующие принципы: принятие философии инклюзии всеми участниками образовательного процесса; понимание различных образовательных потребностей детей, привлечение внимания общества к проблемам коммуникации, и устранение дискриминации в сфере социально-учебного взаимодействия.

Для повышения эффективности внедрения инклюзивного образования в нашей стране используется ряд средств, помогающих в адаптации особенных детей. Например, речевой тренажёр типа Go Talk. Он предназначен для восстановления и развития речевых навыков. Данное устройство особенно полезно тем, что его можно использовать не только с помощью педагога, но и самостоятельно. Одной из функций тренажёра является возможность записи и воспроизведения уже изученных слов, слогов и предложений. Данное устройство может быть использовано как для обучения обычных малышей, так и детей с особыми потребностями, например: афазия, дизартрия, алалия. Так же, стоит отметить, что данный аппарат может помочь при облегчении коммуникации и реабилитации взрослых, пострадавших, вследствие перенесенных заболеваний, например, инсульта или черепно-мозговой травмы. Ещё одним примером может служить программа Duxbury BrailleTranslator (DBT), осуществляющая двунаправленный

перевод обычного шрифта в шрифт азбуки Брайля и обратно. Технология DBT также является полнофункциональным текстовым редактором, при помощи которого, слабовидящий человек может составить текст, используя язык Брайля.

К технологиям, используемым в системе инклюзивного образования, также относят: специальное программное обеспечение, возможности VR-сред, индивидуальные средства коммуникации, например: высокотехнологичные инвалидные кресла или слуховые аппараты. Список вспомогательных средств можно продолжать ещё очень долго и самое прекрасное, что многие из них нашли применение в современных образовательных учреждениях, хотя и не настолько масштабно, насколько хотелось бы. В то же время, важно понимать, что начало уже положено и постепенно, медленно, но уверенно мы движемся навстречу открытой образовательной системе доступной для всех без исключения. За два последних десятилетия, возможности инклюзивного образования и адаптации в корне расширились, что, несомненно, изменило как доступность обучения для детей с особыми потребностями, так и расширило возможность их комфортной интеграции в общество.

Список литературы:

1. Курмышева Л.К. Инклюзивное образование: международный опыт // Сибирский педагогический журнал. – 2012. – Вып. 9. – С. 221–224.
2. Борисова Н.В. Социальная политика в сфере инклюзивного образования: контекст либерализации и российские реалии // Журнал исследований социальной политики. – 2006. – Т. 4. – Вып. 1. – С. 103–120.

УДК 378

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ****Багдасарян Р.Х.****Краснодарский государственный институт культуры**
кандидат технических наук, доцент
rafael_555@mail.ru**Боровик Я.С.****Краснодарский государственный институт культуры**
бакалавр
yanaborovik2002@mail.ru**Енгибарян Ж.Р.****МАДОУ МО «Детский сад № 130» г. Краснодар**
воспитатель
zhanna.engibaryan@gmail.com

Аннотация. В статье представлен исторический взгляд на развитие музеев как культурно-просветительских и образовательных центров в их взаимосвязи с учебными заведениями. Особое значение в статье придается новым технологиям в музейной деятельности как наиболее доступной и обладающей образовательным потенциалом форме культуры, а также обосновывается положение о том, что информационно-коммуникационные системы могут быть представлены как педагогическая технология. Целью исследования является изучение новых технологий музея в педагогическом процессе.

Ключевые слова: музей, цифровые технологии, коммуникация, просвещение, нравственно-эстетическое воспитание.

В современных условиях образование приобретает новые формы открытости и интеграции с различными учреждениями культуры. Взаимодействие образовательных учреждений и культурных центров приобретает черты системного и структурированного процесса. Однако возникающие новые формы культуры, к которым следует отнести информационные технологии в музейных учреждениях, используются не в полной мере. В отечественных и зарубежных образовательных системах все более ясно формируется тенденция к интеграции педагогического процесса в образовательных учреждениях и культурно-просветительской деятельности культурных центров. Процесс взаимодействия развивается от проведения отдельных музейных занятий до интеграции в единую педагогическую систему обучения и воспитания. Особенностью форм и методов образовательной деятельности музеев является проявление комплекса динамических эффектов: экранных, звуковых, цветовых, которые позволяют стимулировать познавательный интерес учащихся, представляя музейную информацию в широком историческом контексте.

В первой половине XX века в России значительно возросло образовательное назначение музеев [1]. В школах открывались краеведческие кружки и музеи, работающие при известных музеях. С 80-х годов прошлого века и по настоящее время идея открытости музея определяется идеями диалога культур [3], музейно-коммуникационного подхода в музейно-образовательной деятельности, развития музейной педагогики, открытых информационных систем. Особенностью современного этапа интеграции образовательной деятельности музеев и школ является появление новых форм музейных учреждений в информационной среде. С появлением информационно-коммуникационных технологий расширяется культурная среда, которая имеет свои особенности в структуре, возможностях и перспективах распространения образовательного ресурса [2]. Информационно-образовательная среда рассматривается как

подсистема социокультурной среды, объединяющая целостность педагогических условий формирования личности и основанная на использовании совокупности технических средств хранения, обработки, передачи информации и обладающая возможностью педагогического взаимодействия преподавателя и учащегося в широком культурно-образовательном виртуальном пространстве.

В методологических основах педагогических технологий, разработанных российскими учеными, особое значение придается критериям системности, управляемости, эффективности, воспроизводимости. Современные музеи как открытое культурно-образовательное пространство, приобщая учащихся к великому наследию прошлого, отражают динамику современного культурно-исторического процесса, концентрируют творческий опыт человека, способствуя развитию личности в системе общечеловеческих ценностей. Таким образом, в настоящее время остро стоит проблема разработки программ интеграции информационных технологии в музеи с изучаемыми предметными областями, внеклассной и воспитательной деятельностью в целостном педагогическом процессе приобщения учащихся к истории прошлого и настоящего.

Список литературы:

1. Флоренский П.А. Из лекций по истории философии Нового времени // Философские науки. – 2007. – № 1. – С. 20–44.
2. Столяров Ю.Н. Итоги развития отечественных библиотек к концу второго тысячелетия // Науч. и техн. б-ки. – 1998. – № 10. – С. 35–49.
3. Чумаколенко Н.А. Теория «Диалога культур» М.М. Бахтина В.С. Библера и развитие медиаобразования в художественно-эстетическом образовании и воспитании школьников // Теория и практика общественного развития. – 2013. – № 1. – С. 194–196.

УДК 378.147.85(075.8)

**МЕЖПРЕДМЕТНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ МАТЕМАТИКИ И ХИМИИ КАК СРЕДСТВО
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В КОЛЛЕДЖЕ****Ведерникова
Татьяна Геннадьевна****Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы**
кандидат технических наук, доцент
tatyana.ved@gmail.com**Ильинская
Марина Валерьевна****Уфимский колледж статистики, информатики
и вычислительной техники**
преподаватель
marya.care@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы значимости и сущности межпредметной интеграции курсов математики и химии в обучении студентов младших курсов общеобразовательных отделений колледжей, представлена сравнительная таблица, в которой отражены межпредметные связи в содержании требований образовательного стандарта к предметным результатам освоения базового курса математики и химии для старшей школы, а также фрагменты разработанных конспектов уроков межпредметного характера.

Ключевые слова: межпредметная интеграция, математика, химия, среднее общее и профессиональное образование.

Методологической основой межпредметных связей учебных дисциплин является положение о единстве материального мира и взаимосвязи природы, общества и мышления. Идея межпредметных связей в классической педагогике родилась в результате поиска путей отражения целостности природы в содержании учебного материала [1–3].

Установление и усвоение обучающимися связей между отдельными элементами знаний и умений из различных учебных предметов способствуют формированию системности знаний, динамичности мышления, творческих способов познавательной деятельности и ценностных ориентаций обучающихся, в том числе студентов младших курсов общеобразовательных отделений колледжей. Образовательные организации, осуществляющие подготовку специалистов среднего звена на базе основного общего образования, реализуют ФГОС среднего общего образования в пределах программ подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ) с учетом получаемой специальности СПО [4–6]. Так, ППССЗ предусматривают изучение математического и общего естественнонаучного учебных циклов, включающих ряд дисциплин, в том числе, математику и химию.

Отличительная особенность стандартов среднего общего образования второго поколения – их нацеленность на обеспечение перехода от ретрансляции знаний к формированию и развитию творческих потенций обучающихся, подготовке их к жизни на базе системно-деятельностного подхода. В условиях внедрения ФГОС среднего общего образования в новой редакции [8] в образовательное пространство возникает целесообразность исследования аспектов, связанных с вопросами преподавания дисциплин математического и общего естественнонаучного цикла, и в частности, математики и химии в контексте ФГОС СОО второго поколения.

Во ФГОС среднего общего образования в новой редакции сформулированы максимально конкретные требования к предметам всей школьной программы, позволяющие ответить на вопросы: что конкретно обучающийся будет знать, чем овладеет и что освоит. Новый стандарт работает на создание основы для обеспечения качества общеобразовательных программ.

Научно-методологической основой для установленных требований к личностным, метапредметным, включающим, в том числе, освоенные обучающимися межпредметные

понятия и универсальные учебные действия; предметным результатам, включающим освоение обучающимися в ходе изучения учебного предмета научных знаний, умений и способов действий, специфических для соответствующей предметной области, является системно-деятельностный подход.

Метапредметные результаты освоения ООП должны отражать: овладение универсальными учебными познавательными действиями (базовыми логическими действиями, например, выявлять закономерности и противоречия в рассматриваемых явлениях; базовыми исследовательскими действиями: владеть навыками УИД, анализировать полученные результаты, критически оценивать их достоверность; уметь интегрировать знания из разных предметных областей и др.).

Предметные результаты освоения ООП устанавливаются для учебных предметов на двух уровнях: на базовом уровне ориентированы на обеспечение преимущественно общеобразовательной и общекультурной подготовки; на углубленном – должны обеспечивать возможность дальнейшего успешного профессионального обучения и профессиональной деятельности.

Сравнительный анализ требований к предметным результатам освоения базовых курсов химии и математики по учебным предметам «Химия» и «Математика» представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ требований к предметным результатам освоения базовых курсов химии и математики

Требования к предметным результатам освоения базового курса должны отражать	
по учебному предмету «Химия»	по учебному предмету «Математика»
1	2
– владение системой химических знаний, которая включает основополагающие понятия (атом, электронная оболочка атома, s-, p-, d-электронные орбитали атомов, ион, молекула, валентность, степень окисления, моль, молярная масса, молярный объём, кристаллическая решетка, типы химических реакций, раствор, электролитическая диссоциация, скорость химической реакции, химическое равновесие, теории и законы (теория ЭД, периодический закон Д.И.Менделеева, закон сохранения массы)	– умение оперировать понятиями: точка, прямая, плоскость, пространство, параллельность и перпендикулярность прямых и плоскостей, угол между прямыми, между прямой и плоскостью, расстояние от точки до плоскости, между прямыми и плоскостями; умение использовать изученные факты и теоремы планиметрии; оценивать размеры объектов окружающего мира; – умение оперировать понятиями: движение в пространстве; – умение оперировать понятиями: фигура и поверхность вращения, конус, шар, сфера, сечения фигуры вращения, объем шара; умение изображать поверхности вращения, их сечения от руки, с помощью чертежных инструментов и электронных средств; умение распознавать симметрию в пространстве; – умение вычислять геометрические величины (длина, угол, площадь, объем), используя изученные формулы и методы; – умение оперировать понятиями: прямоугольная система координат, координаты точки, вектор, угол между векторами, сумма векторов; находить с помощью изученных формул координаты середины отрезка, расстояние между двумя точками
– выявлять взаимосвязь химических знаний с понятиями и представлениями других естественнонаучных предметов; – составлять формулы неорганических и органических веществ, уравнения химических реакций; подтверждать характерные химические свойства веществ соответствующими экспериментами и записями уравнений химических реакций	– умение выбирать подходящий изученный метод для решения задачи, распознавать математические факты и модели в природных явлениях

Окончание таблицы 1

1	2
– определять типы кристаллических решеток веществ	– умение оперировать понятиями: многогранник, куб, параллелепипед, призма, пирамида, объем куба; умение изображать многогранники от руки, с помощью чертежных инструментов и электронных средств; умение распознавать правильные многогранники
– владение основными методами научного познания веществ и химических явлений (наблюдение, измерение, эксперимент, моделирование)	– умение оперировать понятиями: рациональная функция, показательная функция, тригонометрические функции, обратные функции; умение строить графики изученных функций, использовать графики при изучении процессов и зависимостей, при решении задач из других учебных предметов; выражать формулами зависимости между величинами
– сформированность умений проводить расчеты по химическим формулам и уравнениям химических реакций с использованием физических величин, характеризующих вещества с количественной стороны: массы, объема (нормальные условия) газов, количества вещества	– умение решать текстовые задачи разных типов (в том числе на проценты, доли и части); составлять выражения, уравнения и неравенства и их системы по условию задачи, исследовать полученное решение и оценивать правдоподобность полученных результатов
– сформированность умений планировать и выполнять химический эксперимент (определять среду водных растворов, решать экспериментальные задачи по темам «Металлы» и «Неметаллы»); представлять результаты химического эксперимента	– умение оперировать понятиями: степень числа, логарифм числа; умение выполнять вычисление значений и преобразования выражений со степенями и логарифмами, преобразования дробно-рациональных выражений; – умение оперировать понятиями: среднее арифметическое, наибольшее и наименьшее значения, размах, дисперсия, стандартное отклонение числового набора, умение извлекать, интерпретировать информацию, представленную в таблицах, на диаграммах, графиках, отражающую свойства процессов и явлений; представлять информацию с помощью таблиц и диаграмм; исследовать статистические данные, в том числе с применением графических методов и электронных средств

В соответствии с установкой стандарта на реализацию идеи личностно-ориентированного обучения, основной целью профессиональной деятельности преподавателя является создание необходимых условий для формирования и развития компетентностной личности каждого обучающегося посредством образовательной деятельности. Примеры соответствия учебной темы урока химии с необходимым математическим содержанием представлен в таблице 2.

Особенности отбора материала:

- материал из курса математики подбирается с точки зрения обучения химии, чтобы в ходе изучения материала осуществлялись связи между изучаемыми предметами, а не только сообщались важные сведения из математики;
- отбираемый материал с математическим содержанием должен быть взаимосвязанным и использоваться на серии занятиях курса по выбору в качестве практических примеров;
- учебный материал должен быть прост в восприятии и интересен с познавательной точки зрения;
- объем материала из курса математики должен быть четко ограничен сведениями, необходимыми при решении задач с химическим содержанием на уроках химии.

Таблица 2 – Соответствие учебной темы урока химии с необходимым математическим содержанием

Тема	Математическое содержание
Масса, объем и количество вещества. Задачи с массовой долей выхода продукта реакции. Расчеты массовой доли примесей по данной массе смеси. Растворы. Окислительно-восстановительные реакции Экспериментальные задачи по теме «Металлы». Экспериментальные задачи по теме «Неметаллы».	Уравнения Проценты. Доли и части. График функции. Использование графиков при изучении процессов и зависимостей, при решении задач из других учебных предметов. Построение и изучение геометрических моделей. Логарифм числа: вычисление значений и преобразования выражений с логарифмами. Исследование экспериментальных и статистических данных.

Для решения задач на занятиях по химии применяют следующие математические методы: арифметический, алгебраический, геометрический, функционально-графический метод, метод пропорций, метод с применением схем и таблиц (синтетические – для решения относительно легких задач, аналитический – для решения сложных, олимпиадных задач).

Более подробно некоторые примеры математических методов, используемых на занятиях по химии, представлены ниже.

1. Алгебраический метод уравнивания химических реакций

Дано уравнение реакции: $x\text{H}_2 + y\text{O}_2 = z\text{H}_2\text{O}$. Требуется найти коэффициенты перед всеми веществами: x , y , z . Для этого составляем баланс атомов по каждому элементу:

– баланс по водороду H: Слева имеем $2x$ атомов водорода, а справа – $2z$; следовательно, $2x = 2z$;

– баланс по кислороду O: слева имеем $2y$ атомов кислорода, а справа – z ; следовательно, $2y = z$;

– выражаем все коэффициенты через одну неизвестную величину, например, через x ; из первого уравнения получаем: $z = x$, а из второго уравнения находим: $y = 1/2z = 1/2x$;

– с учетом этих результатов уравнение химической реакции принимает вид: $x\text{H}_2 + 1/2x\text{O}_2 = x\text{H}_2\text{O}$; сократив обе части этого уравнения на x , получаем: $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$; после умножения обеих частей уравнения на 2 окончательно находим: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$.

2. Применение линейной функции в химии

Число атомов в молекуле – положительное целое число: $2x + y = 82$.

В математике это уравнение прямой на плоскости. Оно имеет много решений, в том числе и целочисленных. С точки зрения химии оно описывает относительную молекулярную массу углеводорода C_xH_y . Молекулярную массу 82 имеют гексин или гексадиен. В любом случае химическим смыслом обладает только один вариант решения уравнения: $x = 6$, $y = 10$.

3. Применение понятия положительного целого числа

Валентность является положительным целым числом и это создает некоторые ограничения в химических формулах. Вычислим максимально возможное число атомов водорода в углеводороде, содержащем n атомов углерода. С точки зрения химии – это число равно $2n + 2$. Оно соответствует предельным углеводородам – алканам.

Решают эту задачу с помощью математических рассуждений. Общее число валентностей углерода в молекуле C_xH_y равно $4n$, так как каждый атом C четырехвалентен. Атомы углерода связаны друг с другом и с атомами водорода. Минимально возможное число связей C–C равно $(n-1)$ – оно необходимо, чтобы углеродный скелет не имел разрывов. В каждой такой связи участвует два атома C, поэтому число валентностей, расходуемых на связи C–C, равно $2(n-1)$. Остается $4n - 2(n-1) = 2n + 2$ валентно-

стей, которые расходятся на связи С–Н. Так как атом Н одновалентен, число его атомов равно числу связей С–Н: $x = 2n+2$.

4. Понятие натурального числа и решение уравнений

Многие физические величины, используемые для описания химических веществ и реакций, могут принимать только положительные значения: масса, объем, концентрация, скорость реакции и др.

Задача на расчет состава равновесной смеси. Смесь молекулярного азота и водорода в соотношении 1 : 3 нагрели до установления равновесия. Необходимо рассчитать, какая доля исходных веществ превратилась в аммиак, если константа химического равновесия при данных условиях равна $5 \cdot 10^{-6}$. Составляем уравнение реакции: $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$

Данные о количестве веществ до взаимодействия, количестве веществ, вступивших в реакцию и образовавшихся в ходе нее, представляем в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Количество веществ до взаимодействия, вступивших в реакцию и образовавшихся в ходе реакции

Количество вещества, моль	N_2	H_2	NH_3	Всего
Исходный состав	1	3	0	
Вступило в реакцию	x	3x	2x	
Равновесный состав	1-x	3-3x	2x	4-2x

Примем за x – долю прореагировавшего молекулярного азота. Неизвестное x можно вычислить из уравнения, выражающего константу химического равновесия при данных условиях:

$$K = P^2(NH_3)/P(N_2) \cdot P^3(H_2) = 5 \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где $P(NH_3) = 2xP/(4-2x)$; $P(N_2) = (1-x)P/(4-2x)$; $P(H_2) = (3-3x)P/(4-2x)$.

Получили уравнение четвертой степени, которое имеет четыре действительных корня: $x_1 = -0,187$; $x_2 = 0,120$; $x_3 = 1,880$; $x_4 = 2,187$. Только один из них обладает химическим смыслом и удовлетворяет условию положительности концентрации: доля прореагировавших веществ составляет 12 %.

5. Применение стереометрии

На рисунке 1 представлено пять правильных многогранников, реализованных в химических структурах.

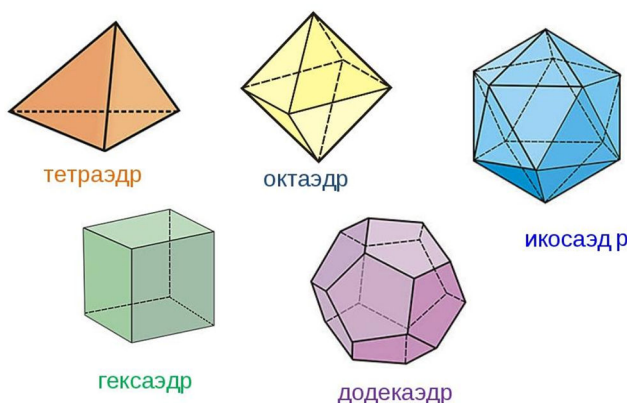


Рисунок 1 – Примеры многогранников, реализованных в химических структурах

Например, молекула белого фосфора P_4 – молекула с геометрией тетраэдра. Каждая вершина связана с тремя другими (атомы фосфора в P_4 трёхвалентны).

Элементарная ячейка поваренной соли NaCl представляет собой куб, длина ребра которого $a = 5,6 \cdot 10^{-10}$ м.

В химии октаэдрическая молекулярная геометрия описывает форму соединений с шестью атомами, симметрично расположенных вокруг центрального атома, определяя вершины октаэдра.

Икосаэдр – двадцатигранник, выпуклая поверхность которого, составлена двадцатью равносторонними и равными треугольниками. При вершинах соединяются по пять треугольников.

Углеродород с геометрической формой додекаэдра (додекаэдр – самый сложный из правильных многогранников) – додекаэдр $C_{20}H_{20}$. В этой молекуле два додекаэдра.

6. *Интерпретация информации, представленной в таблице и графике, отражающей свойства процесса. Фрагмент урока по теме «Электролитическая диссоциация»*

Опыт 2. Диссоциация кислот

Твердые вещества: Mg (стружка); Zn (гранулы).

Растворы: 0,1; 1; 2; 5,25; 8,75; 10,5М и концентрированная (17,5М) CH_3COOH ; 0,1М и 1М HCl .

Жидкости: дистиллированная вода.

Оборудование:

Пробирки; штатив для пробирок, градуированные пипетки, ножницы, секундомер.

Опыт 2.1. Зависимость скорости растворения магния в уксусной кислоте от ее концентрации

Порядок работы

Для проведения работы приготовьте по 5 мл растворов уксусной кислоты: 0,1; 1; 2; 5,25; 8,75 и 10,5М, исходя из концентрированной уксусной кислоты. При наличии готовых растворов используйте их.

В каждый из растворов добавьте одинаковые по размеру кусочки магниевой стружки и измерьте секундомером время, необходимое для полного растворения магния. Результаты занесите в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты эксперимента

Концентрация CH_3COOH , моль/л	0,1	1,0	2,0	5,25	8,75	10,5	17,5
Время растворения Mg, с							

Вопросы и задания

1. Опишите наблюдения.
2. Постройте график зависимости времени растворения магния от концентрации уксусной кислоты.

3. Дайте объяснение виду полученной зависимости скорости растворения магния от концентрации уксусной кислоты.

Известна классификация межпредметных связей по пяти критериям (хронологический, информационный, по направлению, структурному элементу смежных дисциплин, по составу), также различают следующие пути установления межпредметных связей: информационно-рецептивный, репродуктивный, исследовательский и проблемный, каждый из которых имеет несколько способов реализации. [9] Педагог имеет возможность опереться на определенный круг интересов и увлечений обучающихся.

При этом учитываются основные принципы современного образовательного процесса (принцип вариативности обучения, принцип интеграции, принцип целостности содержания образования, принцип систематичности, принцип развивающего обучения, принцип самостоятельности и творческой активности обучающихся). Предполагается привлечение на уроки по одному предмету понятий, образов, представлений из других предметов.

При изучении химической науки очень часто прослеживаются межпредметные связи химии с биологией, физикой и географией, то есть предметами естественнонаучного цикла, которые дают обучающимся знания о живой и неживой природе, о мате-

риальном единстве мира, о природных ресурсах и их использовании в хозяйственной деятельности человека. Общие учебно-воспитательные задачи этих предметов направлены на формирование политехнических знаний и умений обучающихся. На основе изучения общих законов развития природы, особенностей отдельных форм движения материи и их взаимосвязей, преподаватели формируют у обучающихся современные представления о естественнонаучной картине мира.

Изучение всех предметов естественнонаучного цикла взаимосвязано с математикой. Математика дает обучающимся систему знаний и умений, необходимых в повседневной жизни и трудовой деятельности человека, а также важных для изучения смежных дисциплин (химии, черчения, трудового обучения и др.).

Широкое использование математики в курсе химии позволяет сформировать у будущих специалистов среднего звена более гибкое и рациональное мышление, умение мобильно переключаться с одного способа доказательства на другой, закреплять вычислительные и расчетно-графические навыки. Очень трудно найти какой-либо раздел математики, который совсем не используется в химии. Межпредметные связи химии с математикой имеют достаточно большие потенциальные возможности, основанные на математических моделях химических процессов. Типичным примером может быть решение математических задач с физико-химическим и техническим содержанием, построение графиков функций, а также решение задач по химии с применением математических понятий и формул. В химии широко используются пропорции, процентные отношения и множество задач на смеси, решение задач с химическим содержанием предоставляет широкие возможности для построения математических моделей, использующих линейные уравнения, системы линейных уравнений, производную, интегралы, дифференциальные уравнения и т.д.

Кроме того, анализ выполненных заданий высокого уровня сложности КИМ в текущем году показал, что затруднения вызвали следующие элементы содержания: «окислительно-восстановительные реакции», «взаимосвязь неорганических веществ различных классов» (на примере превращения веществ и умения переводить информацию из текстовой формы в уравнения реакций), «расчёт массовой доли растворённого вещества в растворе», а также недостаточность знаний о физико-химических величинах, их размерностях, необходимых для выполнения расчётов по химическим уравнениям», «вывод молекулярной формулы органического вещества и установление его структурной формулы на основе описания его строения и химических свойств» и др. Расчёты были скомбинированы с другими типами задач. Это потребовало от выпускников хорошей математической грамотности. Например, умение составлять и решать алгебраические уравнения или их систему.

Поэтому учителям рекомендуется в учебном процессе обратить внимание на формирование следующих умений обучающихся: составлять химические формулы и рассчитывать массовую долю химического элемента по ним; объяснять зависимость скорости химической реакции и положения химического равновесия от различных факторов; определять валентность и степень окисления химических элементов. Так же обучающиеся должны уметь воспринимать и интерпретировать информацию в графической форме, что отражается в заданиях КИМ (диаграммы, графики, рисунки). В связи с этим для улучшения качества подготовки студентов младших курсов общеобразовательных отделений колледжа следует активно включать задания такого типа в текущий контроль материала программы базового среднего общего образования по химии. Особый акцент необходимо сделать на усиление практических умений обучающихся, недостаточность которых отчетливо видна при выполнении ими заданий контрольных материалов.

Потенциальные возможности межпредметных связей между химией и математикой довольно обширны и многообразны и задача преподавателя – использовать их при изучении химии и математики. Следует отметить, что при реализации межпредметной связи химии и математики обучение химии не должно быть подменено изучением математики на занятиях химии, напротив, обучение химии должно быть усовершенствовано на основе примеров из математики, на основе целенаправленной систематической связи с математикой через примеры и упражнения, содержание которых прямо или косвенно имеет от-

ношение к математике. Межпредметные связи позволяют вычлени́ть главные элементы содержания образования, предусмотреть развитие системообразующих понятий, общенаучных приемов учебной деятельности, возможности комплексного применения знаний из различных предметов в учебной деятельности обучающихся.

Межпредметная интеграция влияет на состав и структуру учебных предметов, каждый из которых – источник тех или иных видов межпредметных связей. Формирование общей системы знаний обучающихся о реальном мире, отражающих взаимосвязи различных форм движения материи – одна из основных образовательных функций межпредметных связей. Формирование цельного научного мировоззрения требует обязательного учета межпредметных связей. Комплексный подход в воспитании усиливает воспитательные функции межпредметных связей курса химии. В этих условиях укрепляются связи химии как с предметами естественнонаучного, так и гуманитарного цикла; улучшаются навыки переноса знаний, их применение и разностороннее осмысление.

Таким образом, межпредметность – это современный принцип обучения, который активизирует методы обучения, ориентирует на применение комплексных форм организации обучения, обеспечивая единство учебно-воспитательного процесса. Межпредметная интеграция математики и химии усиливает системность знаний обучающихся, является эффективным средством совершенствования образовательного процесса в колледже.

Список литературы:

1. Федорова Н.Б., Кузнецова О.В., Поляков А.С. Межпредметная интеграция в курсе физики : учеб.-метод. пособие. – Рязань : Рязанский гос. ун-т им. С.А. Есенина, 2010. – 108 с.
2. Синяков А.П. Дидактические подходы к определению понятия «Межпредметные связи» // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2009. – № 113. – С. 197–202.
3. Кузнецова Н.Е., Шаталов М.А. Обучение химии на основе межпредметной интеграции. – М. : Вентана-Граф, 2008. – 228 с.
4. Приказ Минобрнауки России от 12.05.2014 № 486 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 21.02.05 Земельно-имущественные отношения». – URL : <http://www.consultant.ru>
5. ФГОС СПО по специальности 09.02.07 Информационные системы и программирование. – URL : <https://fgos.ru/fgos/fgos-09-02-07-informacionnyye-sistemy-i-programmirovaniye-1547/>
6. ФГОС СПО по специальности 10.02.05 Обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем. – URL : <https://fgos.ru/fgos/fgos-10-02-05-obespechenie-informacionnoy-bezopasnosti-avtomatizirovannyh-sistem-1553/>
7. Золотарева О.П. Особенность преподавания химии в условиях ФГОС [Электронный ресурс]. – Дубна, 2018. – URL : <https://docs.google.com/document/d/1IjXrTljnarSdsRMhNAWOA5OTXYucd8jcNRk-P5mRdY/preview#>
8. Приказ Минпросвещения РФ от 12.08.2022 № 732 «О внесении изменений в федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17.05.2012 № 413». – URL : <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202209120008>
9. Афанасенкова И.В., Байтулесова А.А. Межпредметная интеграция как средство повышения интереса к изучению химии у учащихся физико-математических школ // Молодой ученый. – 2022. – № 24 (419). – С. 335–339.

УДК 501

**САМООБУЧЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПРЕПОДАВАНИЯ:
ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ****Иванов
Сергей Георгиевич****Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**
кандидат педагогических наук,
доцент кафедры алгоритмической математики
sgivanov@etu.ru**Толкачева
Елена Алексеевна****Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры алгоритмической математики
eatolkacheva@etu.ru

Аннотация. Рассматривается подход к понятию самообучение в русле педагогической технологии «обучение через преподавание». Использование в обучении компьютерных технологий вызвало появление новых направлений в изучении этой технологии с точки зрения взаимосвязи концептуальных понятий и их цифровых представлений. Классические исследования показали эффективность этого подхода в сочетании с информационными технологиями для изучения более сложных вопросов и передачи смыслов. Современные исследователи приходят к выводу о том, что чем сложнее обучающая деятельность, тем больше возможностей для обучения посредством преподавания.

Наиболее существенным шагом в технологическом цифровом развитии идеи педагогических агентов стало введение «педагогического товарища» (learning companion), который осуществляет связь с предметной областью и представляет собой аналог экспертной системы. Взаимодействие при помощи технологии «обучение через преподавание» дидактического конструирования информационной среды обучения с техническими педагогическими инструментами дает основу для горизонтального взаимодействия участников учебного процесса между собой.

Для дальнейшей разработки технологии «learning through teaching» необходимы оценки результативности ее внедрения с возможностью зафиксировать количественные индикаторы и качественные показатели ее эффективности.

Ключевые слова: самообучение, обучение через преподавание, преподавание математики, педагогический агент, горизонтальные связи.

Введение

Проблемы самообучения особенно актуализируются в связи со скоростями изменений, происходящими в современном мире. Эта проблематика требует новых подходов и методик.

В период получения образования, особенно профессионального, наблюдается увеличение объема содержания обучения при сохранении (или уменьшении) времени его рассмотрения. Устоявшиеся методические формы самоподготовки (домашние задания, курсовое проектирование и пр.) уже не могут обеспечить необходимой глубины понимания внутренних связей и смыслов. В этой связи представляет не только теоретический, но и практический интерес, использование преподавания в процессе самообучения, иными словами – формирование изменений в понимании материала для того, кто преподает дисциплину или готовит материал для поддержки её преподавания.

При этом содержательной задачей является оценка количественных показателей такого самообучения. При учёте количественных показателей, кроме их фиксации

и сравнения, следует уточнить – приводит ли обучение и *самообучение* к *качественным сдвигам* в понимании предмета изучения, или результат сводится к *машинальному воспроизведению* текста для теоретического материала и подстановке конкретных данных в готовые алгоритмы для решения практических заданий. Все эти виды самообучения в условиях реализации профессионального обучения относятся к самостоятельной работе студентов.

Существуют различные виды и формы организации самостоятельной работы, в том числе предусматривающие активизацию позиции обучаемого. Именно с таких позиций можно рассматривать педагогическую технологию «обучение через преподавание» («learning through teaching») – главным ее преимуществом является активность студента. Целью проводимых исследований является выявление возможных количественных показателей (измеряемых индикаторов) для оценки использования концепции «обучение через преподавание».

1. Современное состояние исследований по данной проблеме

1.1. Психолого-педагогический подход

Психолого-педагогической основой использования компьютерных инструментов в обучении рассматривается концепция Л.С. Выготского [Vygotskii (1935)] о роли орудия в развитии человека, связанная с теорией зоны ближайшего развития (ЗБР). В классических методиках обучения эта теория получила свое развитие во второй половине XX века [Elkonin (1966), Davydov (1986), Bozhovich (2008), Erikson (1963), Burns (1982)]. Многие исследователи (Roscoe, Topping, Dekhinet, Blanch, Corcelles, Duran) технологии «обучение через преподавание», ссылаются в своих работах на теорию ЗБР, разработанную Л.С. Выготским.

Основные принципы концепции «обучение через преподавание» в сочетании с цифровыми средствами сформулированы еще в период, когда информационные технологии только начинали входить в практику обучения (Cloward, Cohen, Duran, Fiorella, Kulik, Leikin, Mayer, Robinson, Schofield, Stollhans, Webb, Zazkis). В них получены результаты, показывающие эффективность этого подхода в сочетании с информационными технологиями для изучения более сложных вопросов и передачи смыслов. Например, когда студенты преподают содержание занятия, они развивают более глубокое и стойкое понимание материала, чем от исключительно подготовки к обучению [Fiorella, Mayer (2013)]. Объяснение другим потенциально предлагает больше возможностей для обучения, чем объяснение самому себе, потому что те, кто получает объяснение, могут также выявлять пробелы и несоответствия и могут требовать разъяснений или оспаривать объяснение [Webb (1989)]. С другой стороны, возможно извлекать «выгоду из опыта, знаний и энтузиазма своих сверстников. Работая над своими проектами, студенты имеют возможность развить ряд передаваемых навыков, таких как командная работа, навыки презентации и общения, а также творчество» [Stollhans (2016)]. Существенен вывод о том, что чем сложнее обучающая деятельность, тем больше возможностей для обучения посредством преподавания [Duran (2016)].

Исследования в различных направлениях влияния преподавания на самообучение проводятся достаточно давно. Например, сравнение познавательного эффекта обучения для себя и для того, чтобы научить другого человека проводились более 40 лет назад [Bargh & Schul (1980)]. Но и современные исследователи рассматривают различные сценарии реализации обучения через преподавание, сравнивают их эффективность [Koh, Lee & Lim (2018)], изучают влияние обучения сверстников на повышение роли самоконтроля в обучении [Roscoe (2014)].

1.2. Информационно-технологический подход

Появление в обучении компьютерных средств и технологий вызвало появление новых направлений в изучении технологии «обучение через преподавание». В основном исследования связаны с изучением возможностей педагогических агентов (intelligent tutoring systems), которые имитируют поведение учителя. Как правило сами педагогические агенты не являются носителями знаний, их функции ограничиваются

«очеловечиванием» общения студента с материалом. Детальный обзор педагогических агентов сделан еще в 2003 году [Chou, Chan & Lin (2003)]. Подход «(само)обучение через преподавание» (learning through teaching) использовался прежде всего как способ индивидуализации обучения через расширение числа «репетиторов».

Существенными продвижениями в области интеграции концепции «обучение через преподавание» с цифровыми педагогическими агентами обладают разработки, ведущиеся более 15 лет коллективом ученых под руководством Гаутама Бисваса из Университета Вандербилта (Gautam Biswas, Vanderbilt University). В этих работах [Biswas et al. (2005, 2016)] рассматривается обучаемый на основе использования когнитивных карт педагогический агент «Бетти», который является объектом обучения. Студенты учат Бетти, создавая концептуальные карты (карты понятий). Концептуальные карты обеспечивают выразительный графический язык для создания структур знаний предметной области, и это дает студентам средства для создания сложных структур, не вовлекаясь в сложные задачи программирования. Проведенные исследования демонстрируют эффективность «Бетти», обучаемого агента, который сочетает в себе обучение через преподавание с наставничеством по саморегулированию для содействия глубокому обучению и пониманию. Использование возможностей цифровой среды для самообучения математике через преподавание практически не рассматривалось (агент «Бетти», применялся для естественных наук).

Наиболее существенным шагом в развитии идеи педагогических агентов стало введение «педагогического товарища» (learning companion), который осуществляет связь с предметной областью и представляет собой аналог экспертной системы [Chou, Chan & Lin (2003)]. Концепция «педагогического товарища», как своего рода образовательного агента, играющего «неавторитетную роль в социальной среде обучения», пока не получила дальнейшего развития.

Для способствования пониманию механизмов человеческого обучения исследователи создают цифровые когнитивные модели, выполняющие предметные задачи так, как это делают студенты [Matsuda et al. (2010)], имитирующие человеческое обучение математике и естественным наукам [Li et al. (2015)].

1.3. Слияние подходов

Исследования информационного взаимодействия в процессе обучения, проводимые на базе ЭТУ «ЛЭТИ» под руководством профессора Позднякова С.Н., имеют более широкий педагогический спектр. В концепции информационной среды обучения [Bashmakov, Pozdnyakov & Reznik (1997)] цифровые технологии могут использоваться только как инструменты формирования социальной среды обучения. В этом случае технология «обучение через преподавание» определяет контекст горизонтального взаимодействия школьников или студентов, как участников учебного процесса между собой [Tolkacheva (2021)].

Применение компьютерных программ не дает быстрого эффекта в освоении содержания обучения, но может поддержать интеллектуальную свободу студента [Pozdnyakov & Ivanov (2004)], что принципиально для осмысления этого содержания. Определены базовые структуры для компьютерного моделирования понимания человеком простых математических понятий [Pozdnyakov & Ivanov (2006)].

Более 15 лет группой Позднякова С.Н. ведется работа над сближением психолого-педагогического и информационно-технологического подходов. Человек всегда находится выше любого цифрового инструмента или технологии в иерархической социальной среде обучения. Даже создание интеллектуального агента [Pozdniakov (2017)] только обеспечивает общее информационное рабочее пространство процесса обучения. Студенты, участвующие в разработке системы, передают ей знания, трансформируя их из математического представления описательными алгоритмами в компьютерные программы, что является своеобразной формой «обучения компьютера».

Рассматривая взаимодействие при помощи «учения через преподавание» дидактического конструирования информационной среды обучения с техническими педагогическими инструментами можно говорить о слиянии представленных подходов в условиях развития цифровых технологий [Tolkacheva, Ivanov & Pozdniakov (2022)].

2. Описание исследования

2.1. Актуальность

Многие исследователи технологии «learning through teaching» приходят к выводу, что пора переходить от теоретических оценок к практическим. Необходимы и полезны как количественные оценки результативности внедрения технологии, так и подбор конкретных методических и контрольно-измерительных материалов.

Основные измеряемые индикаторы при исследовании влияния педагогических технологий на динамику психологических процессов связаны с мотивационной сферой личности. Классическим является исследование влияния на мотивацию активности позиции в процессе обучения – активной роли учителя или пассивной роли ученика [Benware & Deci (1984)]. При этом актуальной задачей является измерение количественных показателей данного различия – роли учителя и ученика.

Рассматривать индивидуально-психологические особенности в качестве индикатора в массовом педагогическом исследовании не представляется возможным. Хотя можно заметить, что для некоторых категорий обучаемых подключение «товарища по обучению», «неавторитетного собеседника» подталкивает их к поиску альтернативных путей решения задачи, к активизации критической деятельности, что было бы сложнее при обучении под руководством преподавателя или при использовании методической литературы.

Для сравнения результатов психолого-педагогических экспериментов стандартно используют показатели академической успеваемости, например исследования эффективности коллективной обратной связи [Papadopoulos, Obwegeser & Weinberger (2021)]. Но различия в шкалировании успешности обучения, в подходах к пониманию его качества позволяют использовать показатели академической успеваемости только как один из индикаторов, но не единственный и даже не основной.

Выявление ключевых когнитивных и фоновых переменных, которые в значительной степени связаны с показателями результатов обучения является целью группы исследователей Техасского университета [Matsuda & Huang (2018–2021)]. Обучение синтетического ученика SimStudent помогает выявить недостающие важные когнитивные факторы и создать экспертную модель предметной области [Matsuda (2022)].

Поиск индикаторов ведется и при помощи стандартного сравнения показателей контрольной и экспериментальной групп. Сравнивается эффект самообучения от рассказывания виртуальному студенту и от написания текста для него выявлено, что устные объяснения вымышленному ученику улучшают обучение [Lachner, Jacob & Hoogerheide (2021)].

2.2. Описание эксперимента (цели, сценарий, гипотезы)

На основании теоретических обоснований технологии «learning through teaching» были выдвинуто предположение, что у студентов интерес к роли преподавателя больше, чем интерес к роли обучаемого. Поэтому были реализованы две различные формы технологии при изучении и аттестации (сдаче экзамена) по дисциплине «Комбинаторика и теория графов». Студентам были предложены дополнительные сценарии:

– подготовка видеозаписи с разбором задачи (условие задачи можно выбрать из предложенных преподавателем источников [Melnikov et al. (1998), Voronenko, Fedorova (2022)], причём в одних источниках приводилось условие с решением, в других – только условие);

– обучение других студентов по выбранной теме, которую студенты могли выбрать из числа предложенных в [Emelichev et al. (1990)].

В дальнейшем было проведено анкетирование с целью уточнения самооценки и количественных показателей отношения студентов к различным формам деятельности (мотивационная составляющая). Видеозаписи были просмотрены и оценены группой экспертов.

Затем данные, полученные в результате сдачи экзамена, подготовки видеозаписи и заполнения анкет, были обработаны с целью уточнения вопроса – какие величины кор-

релируют между собой? В некоторых случаях сравнивали ответы на различные вопросы анкет, в некоторых – ответы на анкеты и оценку на экзамене, в некоторых – характеристики видеозаписи (правильное и понятное объяснение, лаконичность видео) и успешное решение новой для студента задачи на экзамене.

Целью исследования является выяснение коррелируют ли между собой полученные данные, разделенные на показатели: оценка на экзамене, анкетные отзывы, характеристики подготовленной студентом видеозаписи с разбором задачи. Если данные коррелируют между собой, то эти связи можно измерить и зафиксировать с помощью различных статистических критериев. Если корреляция не наблюдается, что тоже можно подтвердить вычислениями.

2.3. Характеристика выборки и методов обработки данных

В исследовании принимали участие 53 студента второго курса факультета компьютерных технологий и информатики СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Основным критерием для выбора методов исследования был принцип «сочетание технологичности и эффективности». Использовались критерии обработки статистических данных, которые, с одной стороны, допускают быстрое и надежное вычисление, с другой стороны – позволяют дать наглядное и обоснованное осмысление результатов такой обработки [Sidorenko (2010)].

Для проведения статистического анализа обработанных анкетных отзывов, связанных с обучением и самообучением, результатов оценки группы экспертов самостоятельного изложения задачи на видео (студент выступает в роли преподавателя) и успешности решения задачи на экзамене (студент в роли обучаемого), использовался *t*-тест (критерий Стьюдента).

U – критерий Манна-Уитни использовался для оценки различий между двумя выборками по уровню какого-либо признака, количественно измеренного.

Для использования критерия Крамера-Уэлча, основанного на распределении Стьюдента и предназначенного для проверки статистической гипотезы о равенстве математических ожиданий случайных величин, имеющих не обязательно равные известные дисперсии, предполагается, что генеральная совокупность имеет нормальное распределение.

При обработке статистических показателей были учтены не только особенности постановки задачи, такие как необходимость односторонней или двусторонней оценки. В первом случае ставится вопрос: «верно ли, что первая величина больше второй», во втором «есть ли корреляция между двумя подборками». Учтен и вид входных данных, предоставленных в виде 0/1 (неуспех/успех) или в виде натуральных чисел.

2.4. Результаты и выводы

2.4.1. Интерес к ролям преподавателя и обучаемого

Анализ анкетных отзывов показал, что в качестве первого приближения можно рассмотреть суммарную статистику (табл. 1).

Таблица 1 – Общее количество ответов на вопросы анкеты.

Формулировка фактор-признака	Обучение других по выбранной теме (X)	Сдача экзамена студентам-преподавателям (Y)
Вызвал(-о,-а) интерес к теме	18	9
Помог(-ло,-ла) лучше понять суть математических идей	20	10
Повысил(-о,-а) мой профессиональный уровень	15	7
Позволил(-о,-а) узнать, то, о чем не знал и даже не думал	5	7
Дал(-о,-а) новые социальные навыки	34	19
Сделал(-о,-а) жизнь более насыщенной	10	9

Для проверки нулевой гипотезы стандартно используем $Z = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{\sigma_X^2}{n} + \frac{\sigma_Y^2}{m}}}$, где \bar{X}, \bar{Y} –

значения выборочных средних. Критическая область однозначно определяется критическим значением $Z_{кр}$, которое отыскивается из соотношения $\Phi(Z_{кр}) = \frac{1-2\alpha}{2}$ для односторонней области и $\Phi(Z_{кр}) = \frac{1-\alpha}{2}$ для двусторонней, где α – выбранный уровень значимости, а $\Phi(Z)$ – функция Лапласа.

Рассматривая 5 %-й уровень значимости для двусторонней области, получим $\Phi(Z_{кр}) = (1 - 0,05)/2 = 0,475$.

В представляемом эксперименте $m = n = 6$. Среднее значение в первой выборке $\bar{X} = 17$, дисперсия равна 99,2. Среднее значение во второй выборке $\bar{Y} = 10,17$, дисперсия равна 20,17. Рассчитывая $Z = \frac{17-10,17}{\sqrt{99,2+20,17}} \approx 0,63$, имеем $\Phi(0,63) = 0,236$.

Учитывая монотонное возрастание функции Лапласа имеем $Z < Z_{кр}$, следовательно нулевая гипотеза отвергается, то есть величины связаны.

Используя суммы рангов рассматриваемых величин (табл. 2, табл. 3) рассчитаем значение $U = n_1 \cdot n_2 + n \cdot (n + 1)/2 - T$ критерия Манна-Уитни для следующих параметров $n_1 = n_2 = 6$, $n = \max(n_1, n_2)$, $T = \max(T_X, T_Y)$:

$$U = 6 \cdot 6 + \frac{6 \cdot 7}{2} - 47,5 = 9,5.$$

Таблица 2 – Ранги величины X

Значение X	Ранг
18	9
20	11
15	8
5	1
34	12
10	6,5
Сумма T_X	47,5

Таблица 3 – Ранги величины Y

Значение Y	Ранг
9	4,5
10	6,5
7	2,5
7	2,5
19	10
9	4,5
Сумма T_Y	30,5

Критическое значение $U_{кр} = 7$ для уровня значимости 0,05 меньше рассчитанного значения, следовательно подтверждается гипотеза о том, что первая величина X превосходит Y.

Представив результаты в виде диаграммы (рис. 1), можно наглядно проследить зависимость величин, и превалирование интереса к роли преподавателя (синие столбцы) над интересом к роли обучаемого (рыжие столбцы).

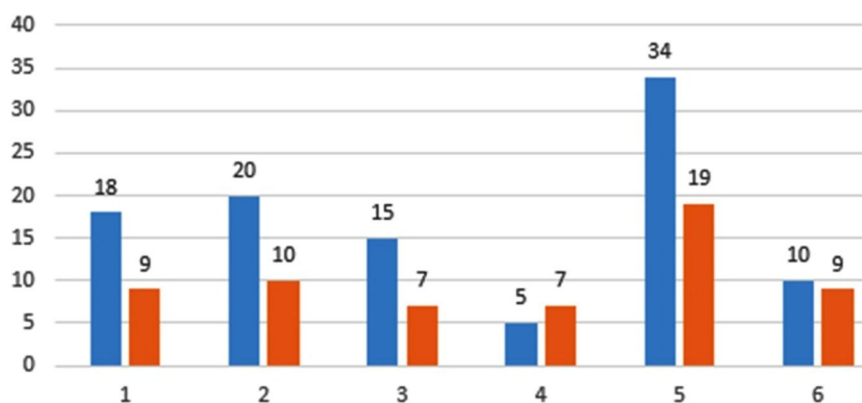


Рисунок 1 – Общее количество ответов на вопросы анкеты

Анализ же индивидуальной статистики дает более точные оценки по отдельным признакам. Сравнение оценок отдельными студентами обучения других и сдачу экзамена студентам-преподавателям, то есть сравнение ими роли преподавателя и роли обучаемого (экзаменуемого) представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение отдельными студентами ролей преподавателя и обучаемого

Формулировка фактор-признака	Вызва (-ло, -ла) интерес к теме	Помог (-ло, -ла) лучше понять суть математических идей	Повысил (-о, -а) мой профессиональный уровень	Позволил (-о, -а) узнать, то, о чем не знал и даже не думал(а)	Дал(-о, -а) новые социальные навыки	Сделал (-о, -а) жизнь более насыщенной
Корреляция Пирсона	0,23181	0,37381	0,094525	-0,13644	0,404486	0,466667
Наблюдаемая разность средних	0,148148	0,166667	0,185185	-0,01852	0,277778	0
Дисперсия разностей	0,279525	0,254717	0,304682	0,244934	0,279874	0,150943
df	53	53	53	53	53	53
t-статистика	2,059126	2,426703	2,465356	-0,27497	3,858451	0
P (T <= t) односторонняя	0,022205	0,009335	0,00848	0,392206	0,000156	0,5
Критическое t одностороннее	1,674116	1,674116	1,674116	1,674116	1,674116	1,674116
P (T <= t) двусторонняя	0,044411	0,01867	0,01696	0,784411	0,000311	1
Критическое t двустороннее	2,005746	2,005746	2,005746	2,005746	2,005746	2,005746

При этом для четырёх фактор-признаков из шести (*Вызва(-ло, -ла) интерес к теме, Помог(-ло, -ла) лучше понять суть математических идей, Повысил(-о, -а) мой профессиональный уровень, Дал(-о, -а) новые социальные навыки*) даже по двустороннему критерию значение статистики больше критерия, значит, нуль-гипотеза отвергается и у студентов интерес к роли преподавателя больше, чем интерес к роли обучаемого.

2.4.2. Характеристики видео-объяснения и успешность при аттестации

В рамках экзамена по дисциплине «Комбинаторика и теория графов» студенты готовили видеозапись с разбором задач. Видеозаписи были просмотрены и оценены группой экспертов по двум параметрам: правильное и понятное объяснение (1 или 0); лаконичность объяснения (менее или более 10 минут – соответственно 1 или 0).

При сравнении полученных данных (табл. 5) выявлена не только корреляция этих величин, но и превосходство параметра «правильности и понятности объяснения» над «лаконичностью изложения».

Таблица 5 – Сравнительные характеристики параметров видео-объяснения

Характеристика сравнения	Значение
t-статистика	3,611732225
P (T <= t) односторонняя	0,0005675
Критическое t одностороннее	1,699127027
P (T <= t) двусторонняя	0,001135
Критическое t двустороннее	2,045229642

При подготовке к аттестационным мероприятиям возможно было пользоваться банком видео-объяснений всех задач. При аттестации студенту предлагалась задача, которую объяснял не он, а другой обучающийся. При этом в обязательном порядке

уточнялось просматривал ли студент видео-объяснение предложенной задачи (учитывались только те результаты аттестации, которые получены после «видео-обучения»).

Известно, что результативность видео-обучения невысока. В данном случае мотивационная составляющая была достаточно проработана – включенность каждого студента в общий проект по созданию банка видео-объяснений задач повлияла как на общую успешность при аттестации студентов (93 %), так и на качество (60 %). Не выявлено влияния результатов самостоятельного изложения задачи на видео (студент выступает в роли преподавателя) на успешность решения задачи на экзамене (студент в роли обучаемого). Не обнаружена корреляция успешности при аттестации ни с одной из характеристик записанных видео-объяснений.

2.4.3. Самооценка отношения к различным формам деятельности

В рамках текущего контроля по дисциплине «Комбинаторика и теория графов» студенты создавали программный модуль на языке Java по графам для компьютерной системы «Графы». Модуль создавался индивидуально каждым студентом, далее тестировался преподавателем и отправлялся в случае необходимости на доработку. Причем в срок и сразу верно были исполнены 57 % разрабатываемых модулей (1 модуль был улучшен разработчиком по собственной инициативе), еще для 18 % модулей были представлены, протестированы и исправлены в срок выявленные недочеты, 10 % разрабатываемых модулей были представлены после окончания работы над проектом (по различным причинам) и не были протестированы, 15 % не были разработаны.

С целью выявления индикаторов влияния различных форм деятельности на самообучение и активизации позиции в восприятии информации было проведено анкетирование. Все участвовавшие в анкетировании занимались двумя видами деятельности в рамках концепции «обучение через преподавание»:

- создание и реализация программного модуля, решающего задачу по теме «Графы», для использования другими студентами как тренажера;
- подготовка видеозаписи с разбором задачи для использования другими студентами для обучения.

Вопросы анкеты были сформулированы следующим образом (можно было выбрать один или несколько пунктов):

1. Создание модуля по графам для системы Графы на языке Java положительно повлияло на понимание курса теории графов.
2. Запись решения задачи на видео (с выкладыванием в YouTube) позволило осмыслить разбираемую задачу существенно лучше, чем без объяснения разбора потенциальным зрителям на видео.
3. Особенности работы с разборами задач, записанными на видео. Мною была выбрана простая задача или задача с решением.
4. Особенности работы с разборами задач, записанными на видео. Мне пришлось многое прочитать, прежде чем записать разбор задачи.
5. Мое отношение к форме экзамена. К такому экзамену легче готовиться, часть билета можно подготовить заранее.

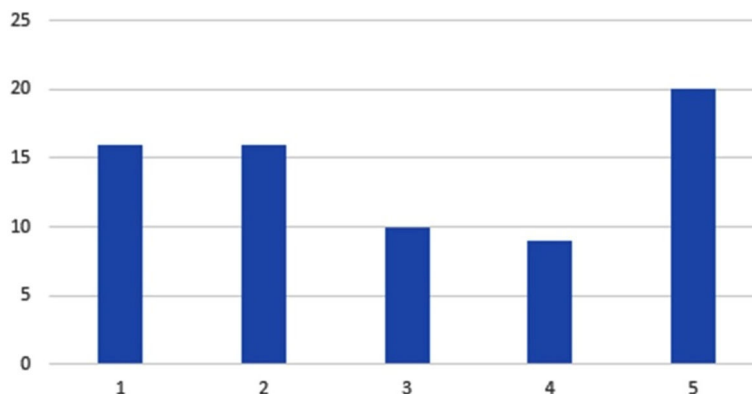


Рисунок 2 – Результаты опроса

Обработка полученных результатов опроса и сравнение полученной самооценки с результатами решения задач на экзамене (табл. 6) показывают адекватность самооценки студентов (для пятого вопроса t-статистика оказалась положительной). Но не обнаружено корреляции самооценки различных форм своего обучения и результатами решения задач на экзамене, что подтверждает невозможность использования академической успеваемости в качестве основного показателя успешности процесса обучения – только наряду с другими.

Таблица 6 – Сравнение самооценки и результатов академической успеваемости

Номер вопроса	1	2	3	4	5
t-статистика	-0,5698	-0,52705	-2,13201	-2,21431	1
P (T <= t) односторонняя	0,286948	0,301404	0,021507	0,018076	0,163446
Критическое t одностороннее	1,708141	1,708141	1,708141	1,708141	1,708141
P (T <= t) двусторонняя	0,573897	0,602807	0,043014	0,036152	0,326892
Критическое t двустороннее	2,059539	2,059539	2,059539	2,059539	2,059539

Анализ индивидуальных ответов студентов указывает на взаимосвязи самооценки при выполнении различных видов работ (рис. 3). Например, выполняется гипотеза о том, что первая величина больше третьей и больше четвертой, что показывает связь между величинами: 1) влияние создания модуля для системы Графы на понимание курса; 2) выбор задачи для разбора на видео; 3) необходимость много прочесть для разбора задачи. Студенты, успешно реализовавшие программный модуль “Графы”, выбирали более сложные задачи для записи, что влекло за собой необходимость дополнительного активного самообучения.

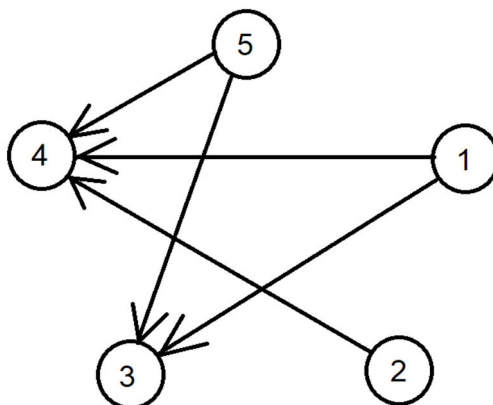


Рисунок 3 – Взаимосвязи самооценки при выполнении различных видов работ

Заключение

В результате проведенного исследования подтвердилась обоснованность использования технологии «обучение через преподавание» в образовательном процессе, так как результаты показывают, что у студентов интерес к роли преподавателя больше, чем интерес к роли обучаемого. Именно это позволило усилить мотивационную составляющую при самостоятельной работе студентов при подготовке к аттестации. Данная форма, а также включенность каждого студента в общий проект по созданию банка видео-объяснений задач, повлияла на общую успешность и качество при аттестации студентов.

В очередной раз на практике подтверждена невозможность использования академической успеваемости как основного показателя эффективности и успешности обу-

чения. Не выявлено влияния результатов самостоятельного изложения задачи на видео (студент выступает в роли преподавателя) на успешность решения задачи на экзаме-не (студент в роли обучаемого). Не обнаружена корреляция успешности при аттес-тации ни с одной из характеристик записанных видео-объяснений, ни с самооценкой различных форм своего самообучения. Поэтому имеет смысл исследовать только мо-тивационную составляющую (количественные показатели самооценки и отношения студентов к различным формам деятельности), выделяя количественные и качествен-ные индикаторы для оценки эффективности применения технологии «обучение через преподавание».

В дальнейшем, при выявлении измеряемых индикаторов возникнет необходи-мость разработки требований к контрольно-измерительным материалам. Причем кон-трольно-измерительные материалы должны предоставлять информацию не только про выполнение прямолинейных действий, но и про понимание внутренних связей и математической сущности предмета.

Благодарим за помощь при подготовке материала Сергея Николаевича Позднякова, профессора кафедры алгоритмической математики СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-14141: изучение взаимосвязи концептуальных математических понятий, их цифровых представлений и смыслов как основы трансформации школьного математического образова-ния.

Список литературы:

1. Vygotskii L.S. Umstvennoe razvitie detei v processe obucheniya (Mental devel- opment of children in the learning process). – Leningrad, 1935. – Retrieved from <http://psychlib.ru/mgppu/VUR/VUR-1935.html>
2. Elkonin D.B. The problem of learning and development in the works of L.S. Vygotsky // *Vopr. Psychology*. – 1966. – № 6.
3. Davydov V.V. Problems of developmental education: The experience of theoret- ical and experimental psychological research // *Proceedings of full members and Corre- sponding Members // APN USSR. Pedagogy*. – Moscow, USSR, 1986.
4. Bozhovich E.D. Zone of proximal development: possibilities and limitations of its diagnostics in terms of indirect cooperation // *Cultural-Historical Psychology*. – 2008. – № 4 (4). – P. 91–99.
5. Erikson E. *Childhood and Society*, 2nd ed. – New York : Norton, 1963.
6. Burns R.B. *Self-Concept Development and Education*. Publisher. – London; New York : Holt, Rinehart and Winston, 1982.
7. Fiorella L., Mayer R.E. The relative benefits of learning by teaching and teaching expectancy // *Contemporary Educational Psychology*. – 2013. – № 38(4). – P. 281–288. – DOI: 10.1016/j.cedpsych.2013.06.001.
8. Webb N.M. Peer interaction and learning in small groups // *International Journal of Educational Research*. – 1989. – № 13. – P. 21–39.
9. Stollhans S. Learning by teaching: developing transferable skills. – 2016. – DOI: 10.14705/rpnet.2016.cbg2016.478.
10. Duran D. Learning-by-teaching. Evidence and implications as a pedagogical mechanism // *Innovations in Education and Teaching International*. – 2016. – Vol. 54. – № 5. – P. 476–484. – DOI: 10.1080/14703297.2016.1156011.
11. Bargh J.A., Schul Y. On the cognitive benefits of teaching // *Journal of Educa- tional Psychology*. – 1980. – № 72. – P. 593–604. – URL : <https://doi.org/10.1037/0022-0663.72.5.593>
12. Koh A.W.L., Lee S.C., Lim S.W.H. The learning benefits of teaching: A retrieval practice hypothesis // *Applied Cognitive Psychology*. – 2018. – № 32(3). – P. 401–410. – DOI: 10.1002/acp.3410.

13. Roscoe R.D. Self-monitoring and knowledge-building in learning by teaching // *Instructional Science*. – 2014. – № 42. – P. 327–351. – URL : <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9283-4>
14. Chou C.-Y., Chan T.-W., Lin C.-J. Redefining the learning companion: The past, present, and future of educational agents // *Computers & Education*. – 2003. – № 40. – P. 255-269. – DOI: 10.1016/S0360-1315(02)00130-6.
15. The Teachable Agents Group at Vande. Learning by teaching: a new agent paradigm for educational software / G. Biswas [et al.] // *Applied Artificial Intelligence*. – 2005. – № 19(3-4). – P. 363–392. – DOI: 10.1080/08839510590910200.
16. Biswas G., Segedy J.R., Bunchongchit K. From Design to Implementation to Practice a Learning by Teaching System: Betty's Brain // *Int J Artif Intell Educ*. – 2016. – № 26. – P. 350–364 (2016). – DOI: 10.1007/s40593-015-0057-9.
17. Learning by Teaching SimStudent / N. Matsuda [et al.] // *In Adjunct Proceedings*. – 2010, June. – P. 55.
18. Integrating representation learning and skill learning in a human-like intelligent agent / N. Li [et al.] // *Artificial Intelligence*. – 2015. – № 219. – P. 67–91. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2014.11.002>
19. Bashmakov M.I., Pozdnyakov S.N., Reznik N.A. *Information Learning Environment*; Academia. – St. Petersburg, Russia, 1997.
20. Tolkacheva E.A. Mathematics at a Technical University: the Potential of Horizontal Connections // *Computer tools in education*. – 2021. – № 2. – P. 84–100. – DOI: 10.32603/2071-2340-2021-2-84-100.
21. Pozdnyakov S., Ivanov S. Computers in productive teaching of mathematics or how information technologies can support intellectual freedom of the learner // *The 10-th International Congress on Mathematical Education, National presentation*. – Russia, Selected materials, Copenhagen, Denmark, July 4-11, 2004. – P. 115–124.
22. Pozdnyakov S., Ivanov S. Computer modeling of human understanding of simple mathematical concepts // *Izv.ETU «LETI»*. – 2006. – № 11. – P. 38–42.
23. Pozdnyakov S.N. Computer Algebra System as a Pedagogical Task // *Computer tools in education*. – 2017. – № 2. – P. 25–41.
24. Tolkacheva E., Ivanov S., Pozdnyakov S. Implementation of Horizontal Connections in the Course of Mathematics by Combining Pedagogical and Digital Technologies // *Mathematics*. – 2022. – № 10. – P. 2352. – URL: <https://doi.org/10.3390/math10132352>
25. Benware C.A., Deci E.L. Quality of learning with an active versus passive motivational set // *American Educational Research Journal*. – 1984. – № 21. – P. 755–765. – URL : <https://doi.org/10.3102/00028312021004755>
26. Pantelis M. Papadopoulos, Nikolaus Obwegeser, Armin Weinberger. Let me explain! The effects of writing and reading short justifications on students' performance, confidence and opinions in audience response systems. – 2021. – DOI: 10.1111/jcal.12608.
27. Matsuda N., Huang R. System Developing an Online Learning Environment for Learning Algebra by Teaching a Synthetic Peer. Funder: United States Department of Education (DoED). – 2018–2021. – Grant number: R305A180319.
28. Matsuda N. Teachable Agent as an Interactive Tool for Cognitive Task Analysis: A Case Study for Authoring an Expert Model // *Int J Artif Intell Educ*. – 2022. – № 32. – P. 48–75. – URL : <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00265-z>
29. Lachner A., Jacob L., Hoogerheide V. Learning by writing explanations: Is explaining to a fictitious student more effective than self-explaining? // *Learning and Instruction*. – 2021. – № 74. – P. 101438. – DOI: 10.1016/j.learninstruc.2020.101438.
30. Exercises in Graph Theory / O. Melnikov [et al.] // Springer Dordrecht, TMS. – 1998. – V. 19. – URL : <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1514-0>
31. Voronenko A.A., Fedorova V.S. *Discrete Mathematics: Problems and Exercises with Solutions* – Moscow : INFRA-M, 2022. – DOI 10.12737/753. – URL : <https://znanium.com/catalog/product/1834398> (date of access: 09/09/2022).
32. Lectures on graph theory / V.A. Emelichev [et al.]. – Moscow : Nauka, 1990.
33. Sidorenko E.V. *Methods of mathematical processing in psychology*. – St. Petersburg : Rech, 2010.

**АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА
КАЧЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ**

Муздыбаева Ш.А.

Алтайский геолого-экологический институт,
Казахстан

Жұмабекова Ж.Д.

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им Д.Серикбаева,
Казахстан
zhumabekova@tagbent.com

Аннотация. В работе рассмотрены основные документы, устанавливающие требования к системе менеджмента качества в испытательных лабораториях, приведено описание некоторых процессов системы менеджмента испытательной лаборатории с целью пересмотра и внедрения согласно требованиям редакции ГОСТ ISO/IEC 17025, а также определялись недостатки в системе менеджмента качества испытательной лаборатории. В результате исследования разработаны мероприятия по совершенствованию системы менеджмента качества испытательной лаборатории.

Ключевые слова: качества продукции/услуги, система менеджмента, управление качеством, требование стандарта, испытательная лаборатория.

Система менеджмента качества (далее СМК) является важнейшим ключом для поддержания и улучшения качества предоставляемых работ и услуг. Внедрение системы менеджмента качества в производство влияет на эффективное использование творческого потенциала персонала, активизаций усилий и реализаций новых идей. Одним из сложнейших задач при осуществлении инновационной деятельности на местах – регулирование процесса СМК. Вероятно, это связано с использованием механизмов, заложенных в СМК: ориентация на процессы, вовлеченность персонала, ответственность руководства.

Вопросы, касающиеся качества предоставляемых работ и услуг являются актуальными всегда, ведь именно с качеством, связывают стоимость работ и удовлетворение запросам заказчиков.

Целью данной работы является рассмотрение основных принципов организации и внедрения систем менеджмента качества (СМК) в испытательных лабораториях, опираясь на литературные источники и электронные ресурсы, анализ деятельности испытательной лаборатории, пересмотр и оптимизация процессов для перехода ИЛ на новую версию ГОСТ ISO / IEC 17025-2019.

Известно, что организации/предприятия представляют собой взаимодействие производственных и технологических процессов, направленных на создание качественных предоставляемых работ и услуг. В этой ситуации большое значение приобретает совершенствование производственных процессов, которые должны быть направлены на обеспечение и эффективное управление внутренней и внешней средой.

Одним из организационных мероприятий в инноваций, для испытательных лабораторий, является разработка Положений о СМК и дальнейшее ее внедрение в производство. Говоря о качестве инноваций, следует рассмотреть сложности, которые возникают в процессе освоения и внедрения инноваций:

- недостаточность корректирующих мероприятий по результатам предыдущих проверок;
- нерегулярность проведение метрологических характеристик, обеспечивающих работу СИ;
- непостоянное отслеживание замечаний и рекламаций со стороны заказчика для эффективности работы системы менеджмента качества.

Система менеджмента качества испытательной лаборатории имеет как рекомендательный характер – для поддержания и улучшения качества выполняемых работ и для повышения удовлетворенности заказчиков, так и обязательный характер – для получения аккредитации и подтверждения своей компетенции в национальной системе аккредитации. Согласно требованиям ГОСТ ISO / IEC 17025 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» [1], в испытательной лаборатории внедрена система менеджмента качества. В Казахстане система менеджмента качества в испытательной лаборатории является не только желательной, но и обязательной. При получении аккредитации и подтверждении своей компетентности, испытательная лаборатория должна соответствовать критериям, содержащим требования к её системе менеджмента качества. Совершенствование СМК является актуальной темой, ведь успешно реализованные мероприятия, направленные на повышения качества услуг, позволяют организации быть конкурентоспособной и успешной [2].

Практически любая организация, выпускающая какую-либо продукцию или предоставляющие какие-либо услуги, пользуется услугами испытательных и аналитических лабораторий. В основном такие лаборатории являются структурными подразделениями организации и входят в общую систему менеджмента качества. Но наряду с требованиями к системе менеджмента качества организации лаборатория должна выполнять еще и специфические требования [3].

Роль испытательных лабораторий (далее ИЛ) в процессах жизненного цикла продукции организации играет важную роль. Лаборатории принимают непосредственное участие:

- в процессе проектирования и разработки новой продукции – испытывает и анализирует состав материалов, разрабатываемых организацией;
- в процессе закупок – контролирует параметры закупаемых сырья и материалов;
- в технологическом процессе производства продукции – испытывает и анализирует промежуточную продукцию в установленных точках контроля согласно технологическим регламентам, а также анализирует состава воздуха рабочей зоны и окружающей среды;
- в процессе контроля готовой продукции – испытывает и анализирует для подтверждения установленных параметров качество выпускаемой продукции;
- в процессе утилизации – определяет состав утилизируемых материалов [4].

Основным документом, необходимым испытательным лабораториям для организации своей деятельности и подтверждения компетентности, является ГОСТ ISO / IEC 17025. Названный стандарт гармонизирован с международными стандартами и содержит требования к управлению и технические требования. Необходимо отметить, что многие лаборатории в Казахстанских организациях хорошо знакомы с ГОСТ ISO / IEC 17025, и требования, изложенные в нем, уже выполняются. Помимо этого, перед лабораториями стоит задача не только организовать свою деятельность в рамках ГОСТ ISO / IEC 17025, но и установить ответственность и взаимодействия с другими подразделениями организации, учитывая требования ИСО 9001 [3].

Область применения данного стандарта для всех организаций, осуществляющих испытания и калибровку. В их число входят, например, лаборатории, являющиеся первой, второй или третьей стороной, а также лаборатории, где проводятся испытания и калибровка, составляющие часть контроля и сертификации продукции.

ГОСТ ISO / IEC 17025 устанавливает общие требования к компетентности лабораторий в проведении испытаний и калибровки, включая отбор образцов, испытания и калибровку, проводимые по стандартным методикам, нестандартным методикам и методикам, разработанным лабораторией [5].

Требования к лаборатории:

- Лаборатория должна являться самостоятельной единицей и иметь возможность нести юридическую ответственность.
- Лаборатория обязана проводить испытания, так чтобы выполнялись требования выдвигаемые ГОСТ ISO / IEC 17025 и удовлетворять требования потребителя и предписания регулирующих организаций.
- Разработанная СМК лаборатории должна охватывать работы, выполняющиеся лабораторией вне зависимости на какой территории она находится.

– Лаборатория, входящая в состав организации, осуществляющей не только испытания, но обязанности руководства организации, участвующего или имеющего возможность влияния на деятельность по проведению испытаний, должны быть определены на исключения потенциальных конфликтов интересов.

– Высшее руководство организации разрабатывает процедуру обмена информацией, особенно по вопросам процесса результативности работы СМК.

Для внедрения СМК в организациях, необходима:

– располагать персоналом, который будет выполнять обязанности по внедрению, поддержанию и улучшению системы менеджмента, и выявлению случаев отступлений от системы менеджмента качества, а также проводить действия по предупреждению или сокращению таких отступлений;

– располагать ресурсами для обеспечения защиты от внешнего давления и влияния, которое может оказать отрицательное воздействие на качество выполняемых работ;

– определять действия, позволяющие обеспечить конфиденциальность и защиту информации заказчиков;

– проводить мероприятия, во избежание вовлечения в деятельность, которая бы подвергла недоверию к ее компетентности, беспристрастности;

– определять такую организационную и управленческую структуру, где бы прослеживалась взаимосвязь между менеджментом качества, технической деятельностью и вспомогательными структурами;

– устанавливать ответственность, определять должностные инструкции сотрудников, участвующих в управлении, выполнении работ, воздействующих на качество испытаний;

– обеспечивать контроль за персоналом и стажерами, проводящим испытания со стороны сотрудников, имеющих знания и опыт в методах и процедурах испытаний;

– иметь персонал, ответственный за техническую деятельность и предоставление требуемых источников для обеспечения качества выполнения работы лабораторией.

Лаборатория должна провести документальное оформление своей политики, системы, стандартов, программ, процедур и инструкций в объеме, обеспечивающим качество результатов испытаний. Для персонала должна быть понятна и доступна вышеописанная документация. Руководство лаборатории должно обеспечить развитие и внедрение системы менеджмента, и постоянное ее улучшение.

Руководители лаборатории должно доводить до сведения персонала важность удовлетворения требований заказчика, а также выполнения работ согласно законам, нормативам правовых актов.

В лаборатории должно быть разработано Руководство по качеству, содержащее ссылки на вспомогательные процедуры, включая технические процедуры. В нем должно быть описаны документация, используемая в СМК лаборатории.

Политика в области качества должна быть утверждена высшим руководством. Она должна включать в себя, как минимум, следующее:

– обязательное соблюдение руководством лаборатории, установившуюся профессиональную практику и сохранять высокое качество испытаний при выполнении заказов;

– заявленную руководством уровень обслуживания, осуществлять лаборатории;

– задачи СМК;

– требование ко всем сотрудникам лаборатории, проводящим испытания, знакомиться с документацией СМК и следовать в своей работе установленной политике;

– проведение улучшение результативность СМК.

Таким образом, ГОСТ ISO / IEC 17025 определяет требования к СМК испытательной лаборатории, требования направлены на качество выполняемых работ лабораторией и на постоянное его улучшение.

В организацию внутреннего контроля обязательно включают [6]:

– контроль качества нормативной документации, актуализация и своевременное внесение изменений в нее и, при необходимости, замена на новую;

– контроль за соблюдением требований методик выполнения испытаний;

– использование только стандартных и аттестованных методик испытаний;

– контроль за состоянием СИ;

- контроль за правильностью оформления результатов измерений и протоколов;
- периодический контроль результатов, получаемых сотрудниками, посредством участия в межлабораторных сличительных испытаниях;
- проведение дней качества и семинаров по изучению новых НД.

Специалист по качеству:

- разрабатывает график проведения внутреннего контроля и программу проведения на год, согласовывает данные документы с руководителем НИЛ;
- организует мероприятия по проведению внутреннего контроля;
- составляет отчет в виде протокола после проведения мероприятий внутреннего контроля, заполняет лист регистрации несоответствий;
- составляет план корректирующих или предупреждающих действий, который передает руководителю НИЛ для согласования.

Руководитель НИЛ:

- организует работу по своевременному устранению причин выявленных несоответствий и обеспечивает контроль её исполнения.

При получении аккредитации в национальной системе аккредитации РК, испытательная лаборатория требуется пройти аккредитацию на соответствие законодательным актам РК, таким как:

- Закон Республики Казахстан «О техническом регулировании» (*с изменениями по состоянию на 27.06.2022 г.*);
- Закон Республики Казахстан от 7 июня 2000 года № 53-II «Об обеспечении единства измерений» (*с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.07.2021 г.*).

Аккредитация в национальной системе аккредитации осуществляется в целях обеспечения доверия к результатам оценки соответствия и создания условий для взаимного признания государствами – торговыми партнерами РК результатов оценки соответствия [7].

Аккредитация осуществляется на основе следующих принципов:

- осуществление полномочий по аккредитации национальным органом по аккредитации;
- компетентность национального органа по аккредитации;
- независимость национального органа по аккредитации;
- беспристрастность, добровольность, открытость и доступность правил аккредитации;
- недопустимость совмещения национальным органом по аккредитации полномочий по аккредитации и полномочий по оценке соответствия и обеспечению единства измерений;
- единство правил аккредитации и обеспечение равных условий заявителям.

При проведении процедуры аккредитации, а в дальнейшем и при подтверждении компетентности, испытательная лаборатория должна быть соответствовать этим критериям [8].

Одним из главных критериев является наличие системы менеджмента качества и соблюдение в деятельности лаборатории требований системы менеджмента качества, установленных в руководстве по качеству. Руководство по качеству должно соответствовать следующим требованиям системы менеджмента качества:

- СМК должна применяться и распространяться на все места осуществления деятельности в области аккредитации и на места ведения временных работ;
- иметь политику СМК лаборатории, устанавливающую:
 - а) цели и задачи в области качества проведения работ лаборатории;
 - б) правила соблюдения лабораторией критериев аккредитации;
 - в) обязательства к персоналу лаборатории, проводящему испытания и измерения.
- предусматривать требования к внутренней организации работ лаборатории, предусматривающих:
 - а) права и обязанности работников, проводящих испытания и измерения, при взаимодействии с работниками других структурных подразделения организации в целях исключения конфликта интересов;
 - б) взаимодействие, права и обязанности работников внутри лаборатории;

в) наличие документов, подтверждающих и определяющих функциональные обязанности персонала лаборатории, распределяющих права, обязанности и ответственность между работниками лаборатории.

– наличие методики, периодичности проведения анализа, а также порядок оформления итогового отчета анализа, с указанием сведений о корректирующих мероприятиях;

– наличие правил управления качеством результатов испытаний и измерений, в том числе правил планирования и проведения анализа результатов контроля качества испытаний и измерений, которыми может быть предусмотрено проведение межлабораторных и (или) внутренних сличительных испытаний, с использованием стандартных образцов;

– наличие правил обеспечения и контроля надлежащих внешних условий для проведения работ лаборатории, таких как (температура, влажность воздуха, освещенность, уровень шума и иные внешние условия, оказывающие влияние на качество результатов испытаний и измерений).

Таким образом, система менеджмента испытательной лаборатории должна быть описана в руководстве по качеству испытательной лаборатории и соответствовать критериям аккредитации основанным на требованиях ГОСТ ISO / IEC 17025, а также система менеджмента качества испытательной лаборатории имеет как рекомендательный характер – для поддержания и улучшения качества выполняемых работ и для повышения удовлетворенности заказчиков, так и обязательный характер – для получения аккредитации и подтверждения своей компетенции в национальной системе аккредитации.

Без получения аккредитации испытательная лаборатория остановит свою деятельность и деятельность организации, так как является структурным подразделением и важнейшим элементом жизненного цикла выпускаемой продукции.

Система менеджмента качества является основополагающим процессом управления качеством в современном времени. Наличие системы менеджмента качества для испытательных лабораторий имеет не только рекомендательный характер, но и обязательный. Наличие СМК в лаборатории требуется при получении аккредитации в национальной системе аккредитации РК.

Необходимо также отметить, что постоянное совершенствование СМК лаборатории является неотъемлемой и главной процедурой для повышения качества выпускаемой продукции, а также подтверждения компетентности и повышения конкурентоспособности на рынке труда.

Список литературы:

1. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М. : Стандартинформ, 2012. – 28 с.
2. Зекунов А.Г., Иванов В.Н., Мишин В.М. Управление качеством : учебник / под ред. А.Г. Зекунов. – М. : Юрайт, 2013. – 475 с.
3. Назарова И.Г., Карташова А.В. Процессный подход в системе менеджмента качества аналитических лабораторий // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 69. – № 2. – С. 65–68.
4. ИСО 9001 для малых предприятий. Рекомендации ИСО/ТК 176. Справочно-методическое пособие (пер. с англ. Ю.В. Дружининой) [Электронный ресурс]. – URL : <http://srosvo.ru/>
5. Рахимов Т.Р., Жданова А.Б., Спицын В.В. Финансы, денежное обращение и кредит: учебное пособие для вузов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск : Изд-во ТПУ, 2011. – 199 с.
6. ГОСТ Р ИСО 19011-2012 «Руководящие указания по аудиту систем менеджмента».
7. Закон Республики Казахстан от 5 июля 2008 года № 61-IV. Об аккредитации в области оценки соответствия.
8. Новосельцева Т.А. Лекции (Электронный ресурс). – URL : http://www.centrkachestvo.ru/SEM/2014/2014.10.02/4.1.1_Novoselcseva_zakon.ppt

Секция 5.
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 665.753.4

ПЕРЕРАБОТКА АСФАЛЬТЕНОВ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ**Аркаченкова
Валентина Викторовна****Сургутский государственный университет**
аспирант, младший научный сотрудник
arkachenkova_vv@surgu.ru**Поваляев
Павел Вадимович****Томский политехнический университет**
аспирант, младший научный сотрудник
pvp13@tpu.ru**Францина
Евгения Владимировна****Томский политехнический университет**
кандидат технических наук, доцент**Петрова
Юлия Юрьевна****Сургутский государственный университет**
кандидат химических наук, доцент

Аннотация. В работе представлен анализ результатов экспериментального исследования углеродного материала, полученного в плазме дугового разряда постоянного тока, иницированного в открытой воздушной среде, из асфальтенов, выделенных из тяжелой нефти в сравнении с ранее полученными результатами асфальтенов из природного асфальтита, продукта окисления нефти в породе, и легкой нефти Среднеургутского месторождения. Изучено влияние асфальтенов на состав и свойства углеродного материала, получаемого, воздействием плазмы на асфальтены. Исходные асфальтены и полученный из них углеродный материал исследован комплексом физико-химических методов. В ходе анализа было установлено изменения в составе и структуре полученных порошковых материалов после плазменной обработки асфальтенов. Показано, что данный метод может считаться перспективным способом переработки нефтяного материала, а также отходов нефтяной промышленности, обогащенных тяжелыми компонентами нефти – смолисто-асфальтеновые вещества.

Ключевые слова: тяжелая нефть, углеродный материал, плазменная обработка, асфальтены.

Н а сегодняшний день запасы легкой нефти истощаются с каждым днем. Возрастает добыча тяжелой нефти, основную часть которой составляют смолисто-асфальтеновые компоненты. Исходя из состава и строения структуры смолисто-асфальтеновых веществ, данные компоненты плохо подвержены биоразложению. Таким образом большая часть тяжелых компонентов нефти, в частности асфальтены становятся отходами нефтяной промышленности. Поэтому возрастает актуальность разработки методики возобновляемой переработки тяжелых нефтяных остатков. Одним из таких методов является плазменная обработка асфальтенов в открытой среде, за счет которой асфальтены перерабатываются в графитоподобные структуры с выделением газовой фазы [1].

Целью работы являлось исследование особенностей переработки асфальтенов тяжелой нефти в реакторе электродугового разряда, иницированного в открытой среде, а также исследование влияния состава асфальтенов на свойства получаемого углеродного материала.

В качестве исходного исследуемого материала использовались асфальтены, выделенные классическим методом SARA-анализа, из тяжелой Венесуэльской нефти (AV). Выделенные асфальтены AV в дальнейшем обрабатывали на плазменной установке для получения углеродного материала CMAV. Полученные результаты по составу и структуре асфальтенов и углеродного материала из тяжелой Венесуэльской

нефти сравнивается с результатами, полученными для асфальтенов, выделенных из природного асфальтита AA и легкой нефти AS, а также с углеродными материалами, полученными из данных асфальтенов CMAA и CMAS, соответственно [2].

Исходные асфальтены и продукты их плазменной обработки изучали методами рентгеновской дифрактометрии, дифференциального термического анализа, энерго-дисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ, ИК-Фурье-спектроскопия и метод лазерной дифракции.

В результате плазменной обработки асфальтенов наблюдаются существенные различия в выходе твердой фазы, что можно связать как с неоднородностью химического состава исходных асфальтенов, поскольку асфальтены имеют переменный состав, а также с термодинамической стабильности образцов, которые в дальнейшем были исследованы с помощью термогравиметрического анализа.

Фазовый анализ углеродных материалов (CMAS, CMAA, CMAV) проводили методом рентгеновской дифрактометрии. Данный метод показал, что при плазменной обработки происходит графитизация образцов асфальтенов, различие между образцами установлено не было.

Методом термогравиметрического анализа показано, что в процессе обработки асфальтенов в реакторе происходит помимо графитизации и термоустойчивость. Было выявлено, что термостабильность асфальтенов различного генезиса предположительно зависит от молекулярной массы асфальтенов. Поэтому термическая стабильность увеличивается в ряду AA→AS→AV. Такая закономерность была установлена по температурным интервалам потери масс образцов, для образцов AA и AS был зафиксирован только один температурный интервал наибольших потери масс в диапазоне от 300 °C до 550 °C, тогда как для образца AV помимо данного интервала отмечен еще интервал от 750 °C до 950 °C. Первый температурный интервал описывается удаление алкильных групп, расположенных на периферийных участках асфальтенов [3]. Второй интервал находится в интервале высоких температур и связан с разрушением более устойчивых углерод-углеродных структур в сложных комбинациях структуры асфальтена. Так же было выявлено, что от термостабильности асфальтенов зависит термостабильность получаемого материала. Исходя из таких данных самым стабильным углеродным метриалом вышел образец, полученный из асфальтенов Венесуэльской нефти.

Методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа определили содержание различных элементов в составе образца. По этим данным провели сравнительный анализ между образцами. Высокое содержание углерода по отношению к другим элементам характерно для образцов асфальтенов. После плазменной обработки содержание углерода возрастает от 91 % до 98 % в связи с разрушением углерод-водородных связей и удалением других элементов [4]. Различное содержание серы в образцах связано с количеством лабильных связей S- в структуре асфальтенов, наибольшее содержание серы у образца AA (1.83 %), что возможно связано с особенностями его происхождения и влиянием пород при образовании асфальтита [5]. Говоря о других элементах можно отметить, что натрий содержится в нефти в основном в форме хлорида натрия, что подтверждается большим содержанием хлора 1.065 % и натрия 6.92 у образца AS, это может быть связано с особенностью местом захоронения.

Так как после плазменной обработки содержание углерода возрастает, для образцов AA от 98.05 до 98.80 %, AV от 98.601 до 99.03 % и AS от 91.22 до 99.70 %, а содержание серы уменьшается: AA от 1.830 до 1.004 %, AV от 1.194 до 0.738 % и AS от 0.468 до 0.144 %. Исходя из этих данных можно сделать вывод, что в ходе окислительной деструкции асфальтенов происходит разрыв наиболее стабильных связей углерод-углерод и углерод-сера [6]. За счет чего выделяется серосодержащий газ – сероводород и меркаптаны. Наличие других элементов в продукте плазменной обработки асфальтенов, свидетельствуют о наличии их в исходном образце асфальтенов.

Методом ИК-Фурье-спектроскопии была проведена идентификация функциональных групп, входящих в состав структуры асфальтенов и полученного углеродного материала.

В ИК-спектрах асфальтенов нефти AS и AV присутствуют одинаковые полосы поглощения функциональных групп. Отличие в ИК-спектрах AA заключается в наличии

полос поглощения, характеризующих функциональные группы: в области 1720 см^{-1} и $1080\text{--}1140\text{ см}^{-1}$ валентные колебания связи С-О; а так же снижение интенсивности полос поглощения, характерных для валентных и деформационных колебаний связей С-Н, что указывает на отсутствие простых связей углерод-водород в образце асфальтена, что вполне естественно для природы формирования асфальтита [7].

В ИК-спектрах образцов углеродного материала в области $3300\text{--}3600\text{ см}^{-1}$ наблюдается колебание гидроксильной группы оксида графена [8]. Интенсивность полосы поглощения в области $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ и $1380\text{--}1560\text{ см}^{-1}$ для углеродного материала в сравнении с асфальтенами снижается, за счет разрушения С-Н связи в момент окислительной деструкции. Валентные колебания в области $1580\text{--}1650\text{ см}^{-1}$ для углеродного материала можно отнести к связям в графитных листах [9]. Полосы поглощения при 1720 см^{-1} и $1080\text{--}1140\text{ см}^{-1}$, в спектрах углеродного материала, относятся к валентным колебаниям карбоксильных групп на краях плоских структур графита и конъюгированных карбонильных групп. Так же после плазменной обработки в образцах углеродного материала наблюдается полосы поглощения, в области 1030 см^{-1} , указывающие на присутствие S = O групп сульфоксидной серы, появляющиеся в ходе окислительной деструкции асфальтенов и разрыва С-S связей [10].

Полученные результаты в целом отражают окислительную деструкцию асфальтенов в электродуговой плазме с образованием окисленной графитоподобной структуры, при этом, по всей вероятности, при формировании углеродных материалов происходят вторичные радикальные реакции и перегруппировки.

Методом лазерной дифракции получили распределение частиц по размерам, данное распределение имеет полимодальным характером. Средний диаметр частиц для образцов асфальтенов асфальтита составляет 3.7 мкм , для нефтяных асфальтенов 18.8 (AS) и 21.96 (AV) мкм . Распределение частиц по размерам в образцах углеродного материала колеблется от 500 нм до 100 мкм и обладает унимодальным характером. После обработки в плазме дугового разряда для образцов средний диаметр частиц уменьшился для: AS от 18.8 до 1.96 мкм и AV от 21.96 до 0.63 мкм , а для образца AA увеличился от 3.7 до 16.88 мкм . Такая закономерность возможно связана с увеличением молекулярной массы молекул асфальтенов различного генезиса, которые в свою очередь при попадании в олеат натрия (диспергатор) «слипаются» в более плотные агрегаты, в то время как полученный углеродный материал такого взаимодействия в дисперсии олеата натрия не дают.

Заключение

1. Показана принципиальная возможность получения графитоподобных углеродных материалов из асфальтенов различной природы. Данный метод можно рассматривать как перспективный способ переработки нефтяного сырья, с получением полезных углеродных материалов, которые потенциально могут быть использованы в различных областях науки и техники.

2. Установлено, что при обработке асфальтенов в плазме дугового разряда при силе тока 100 А и в течение 30 с происходят процессы графитизации и окислительной деструкции молекул асфальтенов по наиболее лабильным связям углерод-гетероатом и углерод-углерод.

3. Установлено, что в ходе плазменной обработки образцы асфальтенов, выделенные из тяжелой нефти являются наиболее термически устойчивыми в-по сравнению с образцами асфальтенов, полученных из природного асфальтита и легкой нефти, что подтверждается термогравиметрическим анализом и рентгеновской дифракцией.

4. Методом лазерной дифракции установлено, что при большом диаметре частиц исходных асфальтенов, средний диаметр частиц углеродного материала будет наименьший.

5. Отмечено изменение элементного состава асфальтенов при плазменной обработке: при формировании углеродных материалов происходит уменьшение общего содержания серы, а также снижение количества остальных гетероэлементов, за исключением ванадия, никеля и железа, входящих в состав порфириновых структурных

фрагментов – содержание этих металлов растет, поскольку происходят процессы разрушения и перестройки структурной матрицы молекул асфальтенов.

6. Подтверждено, что свойства получаемых в результате плазменной обработки углеродных материалов зависят от свойств, состава и структуры исходных асфальтенов. При обработке в плазме под действием дугового разряда постоянного тока в открытой воздушной среде образуются углеродные материалы с высокой степенью упорядоченности (графитизации), их элементный состав, термическая стабильность и фракционный состав находятся в прямой зависимости от используемого сырья – асфальтенов различного генезиса.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-13-20016.

Список литературы:

1. Investigation of the process and products of plasma treatment of asphaltenes / Yu.Yu. Petrova [et al.] // *Materials today Communication*. – 2022. – № 33. – P. 8.
2. Arora N., Sharma N.N. Arc discharge synthesis of carbon nanotubes: Comprehensive review // *Pilani: Diamond and Related Materials*. – 2014. – V. 50. – P. 135–150.
3. Moschopedis S.E., Parkash S., Speight J.G. Thermal decomposition of asphaltenes // *Fuel*. – 1978. – V. 57. – № 7. – P. 431–434.
4. Камьянов В.Ф., Аксенов В.С., Титов В.И. Гетероатомные компоненты нефтей. – Новосибирск : Наука, 1983. – 238 с.
5. Grinko A.A., Golovko A.K. Thermolysis of petroleum asphaltenes and their fractions // *Petroleum Chemistry*. – 2014. – V. 54. – № 1. – P. 42–47.
6. Golovko A.K., Grinko A.A. Structural Transformations of Petroleum Resins and Their Fractions by Thermolysis // *Petroleum Chemistry*. – 2018. – № 58. – P. 599–606.
7. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. – М. : Химия, 1983. – 192 с.
8. Study of oxygen-containing groups in a series of graphite oxides: Physical and chemical characterization / C. Hontoria-Lucas [et. al.] // *Carbon*. – 1995. – V. 33. – № 11. – P. 1585–1592.
9. Tucureanu V., Matei A., Marius A. FTIR Spectroscopy for Carbon Family Study // *Critical reviews in analytical chemistry*. – 2016. – V. 46. – № 6. – P. 502–520.
10. Asemanni M., Rabbani A. Oil-oil correlation by FTIR spectroscopy of asphaltene samples // *Korea: Geosciences Journal*. – 2015. – P. 12.

УДК 620.92

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Гасумов
Эльдар Рамизович

Азербайджанский технический университет,
Азербайджанский Государственный университет нефти
и промышленности, Азербайджан
кандидат экономических наук, доцент, докторант,
R.Gasumov@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы развития альтернативной – возобновляемой источников энергии (ВИЭ) в Азербайджане. Изложены особенности перехода к альтернативной энергетике, получаемому путём преобразования энергии из возобновляемых источников энергии, в процессе производства, которого исключаются выбросы парниковых газов в окружающую среду.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, ВИЭ, технология, окружающая среда.

Одна из важнейших проблем XXI века является энергосбережения и переход на альтернативной энергетике (АЭ) или возобновляемые источники энергии (ВИЭ), поскольку используемые сегодня в экономической жизни невозобновляемые (традиционные – нефть, природный газ и уголь) источники энергии неизбежно истощаются и представляют угрозу для окружающей среды (их использование связано с выбросами углекислого газа, парниковым эффектом и глобальным потеплением). Существует около десятка основных видов ВИЭ, и сегодня альтернативная энергетика обеспечивает более 26 % мирового производства электроэнергии. Энергосбережение, разработка и внедрение АЭ систем или ВИЭ становятся одной из самых актуальных проблем современности [1].

По данным Международного энергетического агентства, для достижения к 2050 году нулевого суммарного выброса углекислого газа с целью предотвращения глобального потепления более чем на 1,5 °С две трети всей энергии и 90 % электроэнергии на планете будут производиться за счёт «зелёной» энергетике. К 2030 году развитие «зелёной» энергетике позволит создать 14 миллионов новых рабочих мест. «Зелёная» энергетике – это технология производства энергии, которая минимизирует загрязнение окружающей среды, включая отсутствие выбросов парниковых газов в атмосферу, использует неисчерпаемые и возобновляемые источники [1, 2].

Получение энергии более экологичным способом, приносящим меньший вред окружающей среде, является основой альтернативной энергетике. АЭ представляет интерес из-за выгоды их использования при, как правило, низком риске нанесения вреда окружающей среде и представляет собой совокупность перспективных методов получения, передачи и использования энергии (часто из возобновляемых источников), которые не так широко распространены, как традиционные.

Целью АЭ является использование возобновляемых или практически неисчерпаемых ресурсов для получения энергии. Соответственно, второй важной целью АЭ является устранение факторов, негативно влияющих на окружающую среду. Таким образом, АЭ – это подотрасль энергетике, охватывающая перспективные способы получения энергии из возобновляемых или практически неисчерпаемых ресурсов, которые снижают риск нанесения вреда окружающей среде.

В зависимости от источника энергии, который в результате преобразования позволяет получить электрическую и тепловую энергию, АЭ классифицируется на несколько видов, которые определяют способы её получения и типы установок, служащих для этого.

К возобновляемым – традиционным источникам относятся: энергия солнца и ветра; энергия воды (включая энергию сточных вод), приливов, волн водоёмов (вклю-

чая водохранилища, реки, моря, океаны); геотермальная энергия с использованием естественных подземных теплоносителей; низкопотенциальная тепловая энергия земли, воздуха, воды с использованием специальных теплоносителей; биомасса, включающая растения, специально выращиваемые для производства энергии (в том числе деревья, а также отходы производства и потребления, за исключением отходов, полученных в процессе использования углеводородного сырья и топлива); биогаз, газ, выделяемый отходами производства и потребления на полигонах таких отходов, газ, образующийся в угольных шахтах и т.д. АЭ также предполагает использование нетрадиционных источников энергии: водородная энергетика, космическая энергетика. Избыток электроэнергии из ВИЭ можно хранить в виде водорода, а затем сжигать для выработки электроэнергии, когда это необходимо [3].

Долгосрочные перспективы АЭ чрезвычайно позитивны, и с каждым годом она обеспечивает все большую часть энергетических потребностей ведущих экономик мира. По сути, сегодня происходит становление новой парадигмы мировой энергетике, которая предполагает решающий вклад ВИЭ в общее энергопотребление и постепенное вытеснение традиционных ископаемых энергоресурсов. В настоящее время АЭ пользуется большим спросом во многих странах мира, т.к. многие страны уже приняли закон о нулевых выбросах с целью достижения нулевого уровня к 2050 г. [1, 4, 5].

С принятием пакета, связанного с рынком углеводородного и декарбонатного газа, газовый сектор должна подстраиваться под декарбонатное будущее. Создаётся новые возможности в секторе углеводородов и биогаза, а также принимаются важные и сбалансированные правила для сокращения выбросов метана в энергетическом секторе. Был принят общий закон о таксономии, который определяет виды деятельности в газовом секторе, и это должно способствовать предотвращению изменения климата.

Нормативно-правовая база и инфраструктура действительно признают роль газа в ближайшие годы, одновременно предусматривая переход на водород и низкоуглеродные газы. До 2030 г. на долю газа будет приходиться 22 % от общего энергопотребления в Европе. Сегодня, в условиях роста цен на энергоносители и геополитической напряжённости, мир лучше осознает важность такой диверсификации. При реализации планов по декарбонизации энергетике энергетическая система каждой страны должна учитывать уникальность этой страны. Это означает, что у каждой страны своё направление, и газ должен заменить традиционные, то есть загрязняющие окружающую среду источники энергии [6].

Переход к экологически «чистой» энергии может создать новые возможности, дополнительные источники дохода и освободить системы от обычных традиционных источников энергии. Перед человечеством стоит один важный вопрос: как можно добиться климатической нейтральности, обеспечив стабильное энергоснабжение. Следует отметить важность снижения выбросов метана в атмосферу, поскольку метан является потенциально опасным веществом для климата, и его воздействие на окружающую среду может быстро расти. С этой точки зрения, сегодня важно больше инвестировать в инновационные технологии для снижения воздействия углекислого газа [6]. В связи с чем, определены долгосрочные цели в отношении энергетической безопасности и правительствами стран СНГ (Азербайджан, Россия, Казахстан и др.), в частности, политики «зелёной» энергетике, также утверждён план мероприятий по развитию альтернативной и водородной энергетике. Такая политика направлена в т.ч., созданию отличную основу для успешной энергетической трансформации в Каспийском регионе, при этом нормативно-правовая база и инфраструктура фактически признают роль природного газа в предстоящие годы, в то же время, предусматривая переход на АЭ (в том числе водород и низкоуглеродистые газы) [7–9].

В Азербайджанской Республике (АР) в год в среднем производят 20 млрд кВт/ч электроэнергии. По оценке экспертов, на это уходит примерно 6,0 млрд куб м газа в год, что является настоящим ударом по экспорту. Основным эффектом, который ожидается от широкого использования АЭ и возобновляемой энергии в АР ожидается заметное увеличение экспортного потенциала. В связи с чем проводится большая работа в отношении своей политики в области «зелёной» энергетике, и инвестировал значительные средства в инфраструктуру электроэнергетики, которая, по данным Всемирного экономического

форума в Давосе, занимает второе место в мире по доступности энергии. Сегодня АР экспортирует электроэнергию в четыре соседние страны – Турцию, Россию, Грузию и Иран. Началось строительство первого крупного проекта в области ВИЭ – ветропарк мощностью 240 МВт, который будет полностью финансироваться иностранным инвестором – известной на энергетическом рынке саудовской компанией «ACWA Power». Ветропарк позволит сэкономить более 300 млн куб. м газа в год, что является хорошим показателем и может стать серьезным изменением для стран с небольшим объемом потребления [10].

Азербайджан также провёл международную оценку потенциала ВИЭ в Восточном Зангезуре, где потенциал ветряной энергии составляет около 7200 МВт, а солнечной – более 2000 мегаватт. Транснациональная нефтегазовая компания «British Petroleum» (BP) проявляет большой интерес к работе на данном регионе и ведутся переговоры по строительству там ВИЭ мощностью более 200 МВт.

«Зелёная» энергия является частью стратегии внутреннего развития АР, а также может стать дополнительным источником дохода от экспорта и будет полезна для стран-импортёров энергоносителей. Согласно совместным исследованиям Минэнерго АР и Международной финансовой корпорации (IFC), разрабатывающим дорожную карту в данном сегменте, по предварительным данным, технический потенциал ветроэнергетики в азербайджанской части Каспия оценивается в 157 ГВт, а само море занимает второе место в мире по потенциалу ветряной энергетики. Решение данной задачи технически является сложным, т.к. потребуются возводить ветрогенераторы высотой свыше 90 метров, а для установки морских турбин требуются большие инвестиции. В АР планируется до 2036 года реализовать ветроэнергетический потенциал Каспийского моря, оцениваемый в 7,2 ГВт, и производимая «зелёная» электроэнергия может поставляться в экспорт. Политика государства подтверждает тот факт, что ВИЭ составляют основу долгосрочных планов АР, которые не только помогут обеспечить декарбонизацию, но и предоставят больше возможностей для развития экономики страны.

Формируемся безуглеродное будущее, для чего необходимо долгосрочное стратегическое сотрудничество между странами в сфере энергетики. ВИЭ, включая водород, имеет огромные возможности для стратегического сотрудничества стран Каспийского региона. Спрос на электроэнергию растёт, как на внутреннем, так и на региональных рынках. Стратегия «зелёной» энергетики уже находится на завершающей стадии планирования, и в ближайшие годы доля которого в общем энергетическом балансе страны будет продолжать расти высокими темпами [6].

Энергетическая стратегия, реализуемая АР, выходит за рамки вопросов узкой энергетической диверсификации и энергетической безопасности, создаёт качественно новые партнёрские отношения между странами, способствует их развитию, повышает уровень взаимного доверия между всеми участниками этого процесса [9, 10].

В последнее время правительство АР активизировало шаги, направленные на расширение использования ВИЭ и на фоне глобального энергетического перехода, ожидаемого в ближайшие 10–15 лет, страна планирует диверсифицировать структуру поставок энергоносителей на внешние рынки. В т.ч., изучаются перспективы экспорта водорода с использованием ВИЭ в производственных процессах.

Производство «зелёного» водорода (в основном производимого из воды с использованием ВИЭ) позволит охватить огромное количество стран, в том числе не имеющих запасов минеральных энергоресурсов, тем самым достичь климатической нейтральности без ущерба для промышленного роста и социального развития человечества. АР позиционирует себя как потенциальный кандидат на участие в международных проектах по производству и экспорту водорода, проводит исследования перспектив создания соответствующих мощностей и инфраструктуры для производства и экспорта водорода. Так же, обсуждаются перспективы транспортировки водорода по Трансадриатическому трубопроводу (TAP). В частности, консорциум «TAP» и «SOCAR» проводят исследования по транспортировке водорода на европейский рынок и недавно даже наметили предварительные планы по этому направлению. В сотрудничестве с международными компаниями «BP», «KBR UK», «Masdar» и «Equinor» ведутся обсуждения перспективных технологий производства водорода: речь идёт о производстве «зелёного» водорода путём электролиза морской воды с использованием

электроэнергии от морских ветряных турбин, а также «голубого» водорода из природного газа, добываемого в море [10].

Учитывая, что транспортировка газово-водородной смеси является довольно сложным технологическим процессом, связанным с рядом операционных и коммерческих факторов, Госкомпания «SOCAR», как один из альтернативных вариантов рассматривают возможность инвестирования в водородные проекты непосредственно у поставщиков электроэнергии в Европе. Речь, в частности, идёт о планах «SOCAR – Energy Switzerland» по строительству в Швейцарии электролизного завода мощностью до 10 МВт, для производства водородного топлива [10].

Между АР многими странами заключены соглашения в области производства АЭ и энергоэффективности, и определены долгосрочные цели в отношении энергобезопасности. В качестве одного из национальных приоритетов в области социально-экономического развития до 2030 года АР определил превращение в страну «зелёного роста» и достижение чистой окружающей среды. Такая политика станет отличной основой для успешной энергетической трансформации в регионе [7, 11, 12].

Стабильность, экономическое развитие, современная инфраструктура, благоприятная бизнес-среда и большой энергетический потенциал страны создали широкие перспективы для производства и экспорта АЭ. Азербайджан совместно с международными компаниями, имеющими большой опыт в области энергетики, приступил к реализации крупных проектов, направленных на создание новых мощностей ВИЭ, и уже достигнуты значительные результаты в области создания новых 855 МВт генерационных мощностей. Это ещё больше расширяет и укрепляет позицию страны как нового надёжного поставщика энергоресурсов на международные рынки.

Азербайджан сможет увеличить экспорт электроэнергии и газа благодаря оффшорной ветроэнергетике. Развитие морской ветроэнергетики даёт возможность АР увеличить экспорт как электроэнергии, так и природного газа за счёт сокращения внутреннего потребления для производства электроэнергии. Развитие морской ветроэнергетики – это возможность для АР перевести значительную часть существующей рабочей силы нефтегазового сектора в сектор чистой энергетики и сохранить долгосрочные квалифицированные рабочие места. Хотя первые проекты морской ветроэнергетики в АР, скорее всего, будут иметь более высокую стоимость энергии, чем нынешняя генерация, этот разрыв в стоимости может быть сокращён со временем благодаря амбициозным целям и рыночной конкуренции. Что касается потенциала развития морской ветроэнергетики в АР, энергия на мелководье может быть выработано до 35 ГВт, а на глубоководье – 122 ГВт. АР в целом обладает немалым потенциалом для развития ВИЭ, только потенциал солнечной энергии, по оценкам специалистов, составляет 5000 МВт [10].

При этом, АЭ пока не могут покрыть весь спрос и инвестиционно не являются самыми дешёвыми источниками, в связи чем потребность к традиционным источникам остаётся актуальной. АР владея большими природными запасами углеводородов, может обозначенные сроки создать новых мощностей ВИЭ и реализовать планы в области «зелёной» энергетике. Страны ЕС уже согласились включить в свою зелёную таксономию природный газ в качестве переходного источника энергии. А вопрос о реалистичности планируемого перехода на АЭ в соответствии с принятыми целями и графиками, о возможностях его финансирования в новых условиях и, как результат, о влиянии этих тенденций на развитие локальных и глобальных энергорынков остаётся актуальным.

Таким образом, учитывая вышеизложенных Азербайджан имеет большие перспективы развития ВИЭ и может стать одним из важных игроков на энергетическом рынке континента.

Список литературы:

1. Бокалдерс В., Блок М. Экологические аспекты строительных технологий. Проблемы и решения. – М. : Изд. АСВ, 2014. – С. 92–95.
2. Альтернативная энергетика – URL : <https://www.promenergotorg.com/alternativnaya-energetika>

3. Перспективы и недостатки водородной энергетики» // Тинькофф. Журнал. 2021. – URL : <https://journal.tinkoff.ru/>
4. ЕС заинтересован в будущих поставках азербайджанского водорода. – URL : <https://caliber.az/ru/post/57784/>.
5. Гасумов Э.Р. Перспективы производства и транспортировки (экспорта) водорода в Азербайджане // Естественные и технические науки. – 2021. – № 12. – С. 228–232.
6. Азербайджан приступил к реализации крупных проектов по возобновляемой энергии. – URL : <https://caliber.az/ru/post/84065/>
7. Президент Азербайджана выступил на заседании Консультативного совета по ЮГК. – URL: <https://report.az/ru/energetika/prezident-azerbajdzhana-prinimaet-uchastie-v-zasedanii-konsultativnogo-soveta-po-yugk/>
8. Gasumov E.R. Azerbaijan's participation in the diversification of the gas transport infrastructure of the continent // Scientific Reviews in UNEC. – 2021. – V. 9. – P. 60–70.
9. Попадько Н.В., Панков С.В., Попадько А.М. Водородная энергетика: этапы развития, проблемы и перспективы // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 293–296.
10. Что ещё Азербайджан может предложить Европе? – URL : <https://news.myseldon.com/ru/news/index/266748649>
11. К вопросу об экономике возобновляющихся источников энергии / К.С. Дегтярев [и др.] // Энергия. Экономика. Техника. Экология. – 2016. – № 10. – С. 10–21.
12. Юдин Д.А. Анализ развития водородной энергетики в мире // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 6. – С. 34–38.

УДК 620.92

**ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ****Григораш
Олег Владимирович****Кубанский государственный аграрный университет**
заведующий кафедрой электротехники, теплотехники и ВИЭ,
доктор технических наук, профессор
grigorasch61@mail.ru**Денисенко
Евгений
Александрович****Кубанский государственный аграрный университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники,
теплотехники и ВИЭ
denisenko_88@mail.ru**Даус
Юлия Владимировна****Кубанский государственный аграрный университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры физики
zirochka2505@gmail.com

Аннотация. Показано, что перспективным является направление применения ветро-солнечных электростанций в качестве источников электроэнергии автономных потребителей малых фермерских хозяйств.

Ключевые слова: ветро-солнечные электростанции, малые фермерские хозяйства, автономные потребители электроэнергии.

Сегодня актуальным направлением является внедрение энергоэффективных автономных источников электроэнергии в сельскохозяйственное производство, выполненных на базе ветро-солнечных электростанций (ВСЭ). Краснодарский край является перспективным регионом для внедрения ВСЭ, поскольку продолжительность солнечного излучения на большей части территории края превышает 2300 ч/год, при этом, суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность находится в пределах от 1200 до 1400 Вт·ч/м². Кроме того, средняя годовая скорость ветровых потоков на большей части территории Краснодарского края превышает 4 м/с, а на западной части даже превышает 6 м/с [1, 2, 5].

В сельскохозяйственном производстве Краснодарского края имеется большое количество автономных потребителей электроэнергии, где по экономическим и экологическим условиям приоритетным является применение для их электроснабжения ВСЭ. К ним относятся, прежде всего, потребители малых фермерских хозяйств (МФХ), занимающиеся производством мёда, мяса, шерсти, рыбы и т.п. ВСЭ обеспечивают электроэнергией не только технологические процессы, но и жизнедеятельность обслуживающего персонала МФХ, создавая им комфортные условия [3, 4].

Значительно увеличилось темпы развития рыбоводства в Краснодарском крае. При этом, край является наиболее благоприятным регионом для развития объектов прудового рыбоводства. Общая площадь водоёмов в Краснодарском крае превышает 60 тыс. га. Основным технологическим оборудованием прудового рыбоводства являются электрооптические преобразователи, выполненные на базе высоковольтной сети, предназначенные для привлечения насекомых, применяемых в качестве корма для рыб. Мощность таких преобразователей находится в пределах от 15 до 250 Вт, номинальное напряжение – равно 220 В.

Для обогащения воды кислородом в рыбоводных прудах применяются аэрационные установки основным функциональным элементом которых являются различные типы погружных насосов с номинальным напряжением 220 В, мощностью от 300 до 1500 Вт. Анализ показал, что общая мощность потребителей электроэнергии задействованных в технологических процессах прудового хозяйства с учётом осветительной нагрузки не превышает 3 кВт.

Активно в последнее время начали применяться также автономные потребители электроэнергии в пчеловодстве, прежде всего, в кочевых пасеках. Специальное электрооборудование применяется для круглосуточного контроля за поддержанием

номинальных параметров в гнезде пчёл (температуры, влажности концентрации кислорода и углекислого газа). Поддержание этих параметров в заданных пределах оказывает существенное влияние на производительность мёда и его качество.

Профессиональные пчеловоды на больших пасеках используют также электронный автоматический счётчик движения, оснащенный инфракрасным приёмником и излучателем для определения лётной активности пчёл. Потребляемая мощность счётчика не превышает 500 Вт. Мощность приводного двигателя медогонки, предназначенной для откачки мёда из сотовых рамок, составляет 90–100 Вт.

Для обеспечения жизнедеятельности обслуживающего персонала рыбных хозяйств и кочевых пасек в качестве основных источников электроэнергии должны применяться ВСЭ, а в качестве резервных бензоэлектростанции небольшой мощности (до 5 кВт).

Широко используются в МФХ трёхфазные потребители электроэнергии небольшой мощности – дробилки, погружные насосы, электропривод вентиляторов, точильный агрегат для заточки режущих пар стригальных машин и т.п., для регулирования частоты вращения которых требуется пониженная частота тока. Здесь широкие перспективы раскрываются перед автономными трёхфазными инверторами с промежуточной высокочастотным звеном [4].

ВСЭ могут применяться в качестве зарядных устройств аккумуляторных батарей беспилотных летающих аппаратов, применяемых для мониторинга земель и точного разбрасывания удобрений.

Современные автономные потребители электроэнергии МФХ предъявляют следующие основные требования к ВСЭ [2]:

- суммарная мощность должна находиться в пределах от 5 до 7 кВт;
- генерировать напряжение постоянного тока и однофазное и трёхфазное напряжение переменного тока;
- обеспечивать бесперебойное электроснабжение потребителей;
- иметь вводы для подключения дополнительных источников электроэнергии, для наращивания установленной мощности, а также для подключения к внешней энергетической системы.

Перспективы применения ВСЭ в качестве источников электроэнергии автономных потребителей МФХ также связаны с тем, что в последнее время значительно улучшились эксплуатационно-технические характеристики основных их функциональных элементов (солнечных и аккумуляторных батарей, контролёров, инверторов). Применение роторных ветроэнергетических установок в составе ВСЭ также позволит улучшить их характеристики [1, 2].

Таким образом, перспективным является применение ВСЭ в качестве источников электроэнергии автономных потребителей электроэнергии МФХ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/27.

Список литературы:

1. Григораш О.В., Кондратенко Ю.Е., Попучиева М.А. Солнечные энергосистемы гарантированного электроснабжения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 124. – С. 1467–1480.
2. Григораш О.В., Кривошей А.А., Смык В.В. Автономные гибридные электростанции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 124. – С. 1441–1452.
3. Ветро-солнечный генератор и его характеристики / Я.М. Кашин [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 6. – С. 201–214.
4. Ветро-солнечная система автономного электроснабжения / Г.В. Никитенко [и др.] // Сельский механизатор. – 2018. – № 4. – С. 28–29.
5. Юдаев И.В., Даус Ю.В. Солнечная электроэнергетика Юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития // Альтернативная энергетика в регионах России «АЭР-2018». – 2018. – С. 45–49.

УДК 620.92

**ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ****Григораш
Олег Владимирович****Кубанский государственный аграрный университет**
заведующий кафедрой электротехники, теплотехники и ВИЭ,
доктор технических наук, профессор
grigorasch61@mail.ru**Кумейко
Андрей Анатольевич****Кубанский государственный аграрный университет**
кандидат технических наук, старший преподаватель
кафедры электрических машин и электропривода
andrei.kumejko@yandex.ru**Барышев
Петр Михайлович****Кубанский государственный аграрный университет**
магистр
petiabaryshev@mail.ru

Аннотация. Раскрываются основные характеристики и конструкции ветро-солнечных электростанций небольшой мощности, предназначенных для электроснабжения автономных потребителей электроэнергии.

Ключевые слова: ветро-солнечная электростанция, солнечная фотоэнергетическая установка, ветро-энергетическая установка.

В настоящее время в России освоено производство основных функциональных элементов ветро-солнечных электростанций (ВСЭ), накоплен опыт проектирования и эксплуатации. Техничко-экономические расчёты показали, что рентабельность ВСЭ повышается при использовании их для электроснабжения потребителей небольшой мощности, удаленных от внешней энергетической системы [1, 4].

Постоянно улучшаются эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ) основных функциональных элементов ВСЭ. Так гарантийный срок работы современных солнечных фотоэлектрических модулей превышает 25 лет, солнечных аккумуляторных батарей достигает 12 лет. Ветроэнергетических установок превышает 20 лет [3].

Краснодарский край является перспективным регионом для внедрения ветровой и солнечной энергетики. На большей части территории края на высоте флюгера 10 м средняя годовая скорость ветра превышает 4 м/с, при этом удельная мощность находится в пределах 150–200 Вт/м². Солнечные ресурсы Краснодарского края позволяют получать с одного метра квадратного 1200–1400 Вт·ч.

При проектировании и оценке эффективности ВСЭ, как правило, используются следующие основные показатели:

- экономические показатели капитальные и эксплуатационные затраты, а также срок окупаемости;
- показатели надежности (средняя наработка до первого отказа, включая ресурс работы без обслуживания и до капитального ремонта);
- показатели потерь и КПД;
- показатели качества электроэнергии (коэффициенты несинусоидальности для статических преобразователей электроэнергии);
- стоимости (капиталовложения и эксплуатационные затраты);
- массогабаритные показатели, как правило, для транспортных систем.

Обстоятельства, влияющие на необходимость применения ВСЭ небольшой мощности (до 10 кВт).

1. Если потребители электроэнергии находятся вдали от внешней энергетической системы. Кроме того, в составе автономной системы электроснабжения целесообразно применять резервный источник электроэнергии дизельные или бензостанции.

2. В случае наличия внешней сети – подстанции, которая имеет ограниченную мощность. Как известно, при подключении дополнительных потребителей качество электроэнергии в пиковые часы снижается.

3. При частых отключениях и авариях во внешней энергетической системе и при наличии ответственных потребителей электроэнергии (потребителей первой категории).

В сельскохозяйственном производстве широкие перспективы раскрываются перед мобильными (транспортными) ВСЭ, предназначенными для электроснабжения удалённых потребителей электроэнергии, применяемых в технологических процессах в период сезона (пчеловодства, пасеки, хозяйства по выращиванию овощей и т.п.).

ВСЭ размещается на одноосновном двухколесном прицепе грузоподъемностью до 500 кг. При этом солнечная фотоэнергетическая установка имеет мощность до 3 кВт (площадь солнечных батарей, которые разворачиваются по принципу спутниковых систем, составляет около 12 м²), содержит многокристаллические солнечные батареи Yingli по 275 Вт, гелевые GST Volta 200 А/ч или литий-ионные аккумуляторные батареи 100 А/ч (2 шт.).

На двухколесном прицепе размещаются две ветроэнергетические установки роторного типа по 1,5 кВт, генерирующие напряжение постоянного тока, контроллер заряда аккумуляторных батарей, однофазный или трёхфазный инвертор мощностью до 6 кВт и бензогенератор мощностью 3 кВт.

Стоимость мобильной ВСЭ с прицепом, рассмотренными комплектующими элементами и монтажным оборудованием мощностью 5–6 кВт будет составлять около 300 тыс. руб.

Основными преимуществами мобильных ВСЭ являются:

- главное преимущество мобильных электростанций это их быстрое перемещение с места на место;
- обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии за счёт трёх независимых источников электроэнергии, включая резервный – аккумуляторные батареи;
- автономность и независимость от внешней энергосистемы;
- возможность размещения практически в любом месте;
- отсутствие потребности в специальных помещениях.

Значительно улучшить ЭТХ ветро-солнечных электростанций, прежде всего показателей надёжности и КПД, можно за счёт применения в их составе бесконтактных электромеханических генераторов электроэнергии, инверторов с высокочастотным промежуточным преобразованием, трансформаторов с вращающимся магнитным полем и бесконтактных коммутационных аппаратов, а также за счёт модульного агрегирования основных функциональных элементов [2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/27.

Список литературы:

1. Григораш О.В., Корзенков П.Г. Автономные системы электроснабжения на возобновляемых источниках // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 93. – С. 646–658.
2. Григораш О.В., Кривошей А.А., Смык В.В. Автономные гибридные электростанции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 124. – С. 1441–1452.
3. Ветро-солнечная система автономного электроснабжения / Г.В. Никитенко [и др.] // Сельский механизатор. – 2018. – № 4. – С. 28–29.
4. Юдаев И.В., Даус Ю.В. Солнечная электроэнергетика Юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития // Альтернативная энергетика в регионах России «АЭР-2018». – 2018. – С. 45–49.

УДК 620.92

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ БЕСКОНТАКТНОГО ГЕНЕРАТОРА
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ****Григораш
Олег Владимирович****Кубанский государственный аграрный университет**
заведующий кафедрой электротехники, теплотехники
и ВИЭ, доктор технических наук, профессор
grigorasch61@mail.ru**Квитко
Андрей Викторович****Кубанский государственный аграрный университет**
старший преподаватель кафедры электротехники,
теплотехники и ВИЭ
9061870011@mail.ru**Власенко
Евгений Анатольевич****Кубанский государственный аграрный университет**
соискатель
ea-vlasenko@mail.ru

Аннотация. Предложено в составе ветроэнергетических установок использовать бесконтактные генераторы электроэнергии, а стабилизации параметров электроэнергии осуществлять непосредственным преобразователем частоты.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, непосредственный преобразователь частоты.

Сегодня ветроэнергетические установки (ВЭУ) применяются не только в составе ветроэнергетических станций, как самостоятельные источники электроэнергии, но и в составе комбинированных системы электроснабжения, включая ветро-дизельные и ветро-солнечные электростанции и другие их комбинации [2, 3].

Для улучшения эксплуатационно-технических характеристик ВЭУ необходимо в их конструкции применять бесконтактные генераторы электроэнергии, которые имеют выше КПД и показатели надёжности. К таким генераторам относятся асинхронные машины емкостного возбуждения и синхронные машины, возбуждаемые от постоянных магнитов [4].

Как известно, стабилизация напряжения электромеханических генераторов ветроэнергетических установок (ВЭУ) осуществляется статическими стабилизаторами переменного или постоянного тока в зависимости от типа применяемого генератора, а стабилизация частоты тока, генерируемого генератором, как правило, за счёт стабилизации частоты вращения приводного вала ветроколеса. В последнем случае в составе ВЭУ применяются редукторы скорости, что значительно ухудшает энергетические характеристики, прежде всего, КПД автономного источника электроэнергии.

Улучшить КПД и показатели надёжности ВЭУ можно также за счёт исключения из состава редуктора ВЭУ автоматической стабилизации частоты вращения на долю которой приходится около 5 % энергетических потерь. В этом случае в качестве стабилизатора напряжения и частоты тока бесконтактных генераторов электроэнергии целесообразно применять непосредственные преобразователи частоты (НПЧ). НПЧ при дестабилизирующих входных параметрах (частоты вращения ротора генератора и, соответственно переменной частоте тока) и выходных параметров (изменение величины и характера нагрузки) способны поддерживать на своём выходе стабильные параметры напряжения и частоты тока, при этом, стабилизация этих параметров происходит независимо [1].

Структурная схема ВЭУ, где в качестве стабилизатора параметров электроэнергии применяется НПЧ приведена на рисунке 1. Генератор работает в диапазоне частоты вращения вала 500–1700 об/мин, выдает мощность на преобразователь в диапазоне частот 300–600 Гц. При этом, повышение частоты генерируемого тока осуществляется за счёт

увеличения передаточного числа механического редуктора ВЭУ, а также за счёт увеличения числа пар полюсов генератора. На выходе НПЧ формируется напряжение с промышленной частотой тока. Выходной фильтр Φ обеспечивает требуемое его качество.

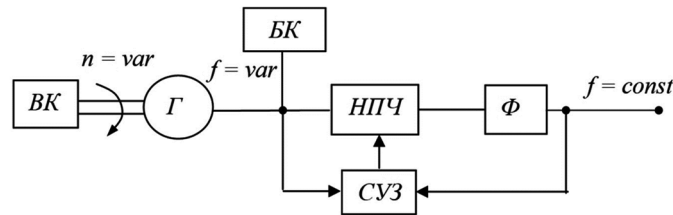


Рисунок 1 – Структурная схема ветроэнергетической установки:
 ВК – ветроколесо; Г – генератор; БК – блок конденсаторов; СУЗ – система управления и защиты;
 НПЧ – непосредственный преобразователь частоты; Φ – выходной фильтр

В качестве стабилизатора параметров электроэнергии могут применяться два типа НПЧ: с естественной коммутацией силовых электронных приборов (НПЧЕ) и с искусственной их коммутацией. В последнем случае НПЧ называется с регулируемым углом сдвига фаз на входе (НПЧР).

Достоинством НПЧЕ является то, что он имеет упрощенную силовую схему, которая не содержит цепи искусственной коммутации, а также не сложную систему управления и защиты СУЗ, а недостаток – повышенная масса блока конденсаторов БК (см. рис. 1). Кроме конденсаторов возбуждения в блок включаются конденсаторы, обеспечивающие компенсацию реактивной мощности нагрузки.

Особенность работы НПЧР, заключается в его способности изменять угол сдвига фаз на входе независимо от величины и характера нагрузки. Поэтому в составе блока конденсаторов БК (см. рис. 1) применяются только конденсаторы, обеспечивающие возбуждение генератора электроэнергии.

Основными недостатками НПЧР являются: сложная силовая часть, из-за применения блока искусственной коммутации, в состав которого входят дополнительные силовые электронные приборы и реактивные элементы, и соответственно усложнена схема системы управления и защиты СУЗ (рис. 1), обеспечивающая не только стабилизацию параметров электроэнергии, но и искусственную коммутацию силовых электронных приборов.

Выбор того или иного типа НПЧ (НПЧЕ или НПЧР) зависит от характера и режимов работы потребителей электроэнергии.

Для улучшения эксплуатационно-технических характеристик ВЭУ, выполненных на базе ВЭУ необходимо оптимизировать параметры основных функциональных элементов, а это может быть достигнуто только за счёт математического моделирования физических процессов, протекающих в силовых цепях, для конкретных режимов работы энергетической системы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно проекта № МФИ-20.1/27.

Список литературы:

1. Атрощенко В.А., Григораш О.В. Непосредственные преобразователи частоты с улучшенными техническими характеристиками для систем автономного электроснабжения // Электротехника. – 1997. – № 11. – С. 56–60.
2. Ветро-солнечный генератор и его характеристики / Я.М. Кашин [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 6. – С. 201–214.
3. Ветро-солнечная система автономного электроснабжения / Г.В. Никитенко [и др.] // Сельский механизатор. – 2018. – № 4. – С. 28–29.
4. Птицын О.В., Григораш О.В. Генераторы переменного тока, состояние и перспективы // Электротехника. – 1994. – № 9. – С. 2–6.

УДК 621.314

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

**Денисенко
Евгений
Александрович**

**Кубанский государственный аграрный университет
им. И.Т. Трубилина**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники,
теплотехники и возобновляемых источников энергии
denisenko_88@mail.ru

**Сидоренко
Александр Дмитриевич**

**Кубанский государственный аграрный университет
им. И.Т. Трубилина**
студент
raznokol@mail.ru

Аннотация. Предложена ветро-солнечная электростанция для автономного питания малых фермерских хозяйств.

Ключевые слова: автономное электроснабжение, возобновляемые источники энергии; ветро-солнечная электростанция.

В настоящее время Краснодарский край занимает лидирующую позицию в Российской Федерации по количеству малых фермерских хозяйств (МФХ), а также малых сельскохозяйствопроизводителей, которых насчитывается около 8,5 тысяч. При этом с каждым годом их количество только увеличивается. Вместе с тем часть таких предприятий удалены от централизованных линий электропередач и не имеют возможности подключиться к таким линиям.

Большинство технологических процессов завязаны на системах автоматического управления, которые не могут работать без использования электроэнергии. В связи с чем фермерам приходится искать альтернативные источники электроэнергии для питания своих хозяйств [3].

На наш взгляд одним из выходов – это использование нетрадиционных источников на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). А так как возобновляемые энергоресурсы не являются постоянно действующими и зависящими от природных явлений, то рекомендуется использовать несколько видов ВИЭ для повышения надежности системы электроснабжения. Наиболее перспективными и позволяющими внедрить технологию практически на любой территории являются солнечная и ветряная энергетика [7, 8].

На сегодняшний день самым распространенным видом электростанций на ВИЭ является ветро-солнечная электростанция (рис. 1) [1]. Данная электростанция может быть двух типов: аккумуляторного и без аккумуляторного. Можно выделить ряд достоинств ветро-солнечных установок: постоянное качество питающего напряжения; высокая экологичность; низкий уровень шума в процессе работы; постоянство электроснабжения потребителей; повышение коэффициента полезного действия и надежности системы, за счет параллельной работы различных источников электроэнергии.

При этом данная схема имеет существенный недостаток, связанный с зависимостью от природных факторов: отсутствия ветра и солнечного излучения.

Основными экономическими затратами при производстве гибридной ветро-солнечной энергоустановки являются затраты на аккумуляторные батареи, которые могут достигать до 40 % от стоимости всего оборудования [5]. Но в случае перехода к без аккумуляторной схеме питания, произойдет резкое снижение времени автономной работы схемы, а также в случае перерывов в электроснабжении оборудованию будет требоваться постоянный перезапуск, что негативно сказывается на этом оборудовании [6].

Энергия, которая вырабатывается солнечными батареями и ветроагрегатом с помощью контроллера через выпрямительно-зарядное устройство идет на зарядку аккумуляторных батарей [4]. Потребители же питаются через инвертор, который преобразует постоянное напряжение в напряжение требуемое для потребителя с частотой 50 Гц и необходимым количеством фаз [2].

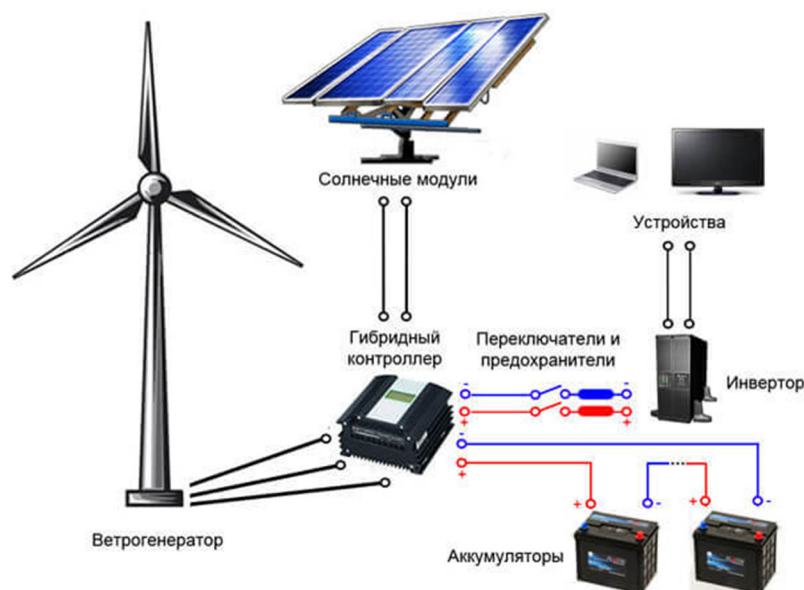


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема гибридной ветро-солнечной энергоустановки

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что использование гибридного ветро-солнечного агрегата является одним из способов организации автономной системы электроснабжения МФХ, удаленных от систем централизованного электроснабжения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/27.

Список литературы:

1. Григораш О.В., Денисенко Е.А., Чумак М.С. Синтез модульных систем бесперебойного электроснабжения повышенной надёжности // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 04 (108). – С. 1270–1283.
2. Винников А.В., Денисенко Е.А., Долбенко Д.В. К вопросу выбора солнечной фотоэлектрической станции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 108. – С. 1284–1294.
3. Усков А.Е., Денисенко Е.А. Разработка и оптимизация режимов работы системы автономного электроснабжения // Сельский механизатор. – 2020. – № 2. – С. 22–23.
4. Преобразователи частоты с улучшенными техническими характеристиками / О.В. Григораш [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 115. – С. 1324–1336.
5. Винников А.В., Денисенко Е.А., Хицкова А.О. К расчёту экономического потенциала ветровой энергетики и выбора ветроэлектрических установок // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 115. – С. 1311–1323.
6. Источники бесперебойного и автономного электроснабжения / Е.А. Денисенко [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 115. – С. 1337–1349.
7. Григораш О.В., Тропин В.В., Оськина А.С. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников энергии в Краснодарском крае // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – 2012. – № 83 (09). – С. 188–199.
8. Григораш О.В., Стрелков Ю.И. Нетрадиционные автономные источники электроэнергии // Промышленная энергетика. – 2001. – № 4. – С. 37–40.

УДК 621.314.58

ПРОБЛЕМЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. НАУЧНЫЙ ВЗГЛЯД**Кашин
Яков Михайлович****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
электротехники и электрических машин;
**Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
профессор кафедры авиационного радиоэлектронного оборудо-
вания
jlms@mail.ru**Митин
Владислав Николаевич****Кубанский государственный технологический университет**
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
vladislav.mitin.1997@bk.ru**Артянян
Корюн Завенович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
zevs4998@mail.ru

Аннотация. В статье дан обзор основных проблем солнечной энергетики, рассмотрены пути их решения, предлагаемые и используемые различными энергетическими компаниями и отдельными учёными.

Ключевые слова: солнечная энергия, солнечные панели, солнечные электростанции.

Солнечная энергетика является крупнейшим сектором мировой электроэнергетики по годовым объемам инвестиций и вводимых мощностей, говорится в докладе Международного энергетического агентства (МЭА) за 2020 г. Связано это с тем, что солнечная энергия, на данный момент один из самых дешевых способов генерации электроэнергии.

В основном, для преобразования солнечной энергии в электрическую применяются две основные технологии [1]. Первая, является более распространенной, осуществляется с прямым преобразованием солнечного излучения в электроэнергию при помощи фотоэлектрических преобразователей. Вторая, менее распространённая технология преобразования световой энергии в тепловую, а затем, при необходимости, в электрическую, называется фототермической [2].

Исследования в области энергоэффективности солнечных энергоустановок и гибридных систем электроснабжения на их основе представляет важную задачу, над решением которой трудятся многие российские и зарубежные учёные: Лукутина Б.В., Попеля О.С., Махмуда М., Брауна Л., Лопеса Р., Амерханов Р.А., Безруких П.П., Богатырев Н.И., Бутузов В.А., Гайтов Б.Х, Гайтова Т.Б. и другие.

По мнению некоторых ученых, одной из значимых проблем является тот факт, что сырьем для изготовления солнечных батарей является один из самых часто встречающихся элементов в земной коре – кремний [3]. Его переработка для применения в фотобатареях «грязное» производство, из-за чего негативно влияет на окружающую среду.

Сотрудник Воронежского института высоких технологий Горбенко О.Н. отмечает, что основным недостатком применения солнечных батарей в энергетике является их дороговизна [4].

Высокая стоимость солнечных батарей обусловлена материалами, используемыми для производства фотоэлементов. В 2022 г. основными видами панелей являются монокристаллические, поликристаллические и тонкоплёночные. Монокристаллические панели имеют наибольшую стоимость (\$150–200 за модуль), при этом обла-

дают КПД (15–25 %). Второй тип панелей дешевле (около \$130), с КПД 13–16 %. Стоимость тонкоплёночных панелей, в зависимости от материала сильно варьируется (от \$65 до \$200), как и КПД (7–20 %) [5].

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что для решения проблемы высокой стоимости модулей нужно работать над усовершенствованием тонкоплёночных панелей.

Стоит учитывать фактор зависимости выработки солнечной энергии погоды. Облачность снижает эффективность установки на 40–80 % в облачную погоду. В то же время, данное явление не мешает панели генерировать электричество, но для выработки необходимого объёма требуется более длительное время.

Решений данной проблемы несколько. Первое – при использовании специальных гибких панелей, которые способны улавливать рассеянный свет, отражающийся от различных предметов и падающий с разных направлений. Следующим способом является применение материалов с повышенной светочувствительностью или солнечных трекеров. Оборудование повышает эффективность работы установки, благодаря отслеживанию положения солнца и дальнейшему регулированию расположения панели [6].

Известно, что для размещения солнечной электростанции необходимы большие площади, данная особенность может сильно ограничивать доступность земель благоприятных для сельского хозяйства. В г. Ухань, КНР решили задачу с помощью постройки плавучей солнечной электростанции [7]. Такое расположение электростанции, помимо экономии полезной площади земли, снижает испарения воды с поверхности водоёма, а также повышается ее энергоэффективность за счёт меньшего нагрева панелей.

В благоприятных районах России, с наибольшим количеством солнечных дней в году, в летние месяцы температура наружного воздуха часто превышает отметку в 25 °С, такое явление негативно сказывается на эффективности солнечных электростанций.

В связи с этим применяется водяное или воздушное охлаждение панелей. Китайские учёные предлагают использовать гель, на основе хлорида кальция, удерживающий воду, впитываемую в ночное время из атмосферного воздуха [8]. В дневные часы влага испаряется, охлаждая фотомодуль. Препятствием перегрева, также является кварцевое стекло, отражающее инфракрасное излучение. К тому же, оно хорошо пропускает видимый спектр излучения, необходимый для работы. Описанные способы охлаждения можно применять для изготовления новых панелей. Для уже существующих устройств остаётся актуальным водяное охлаждение. В качестве источника охлаждения можно использовать почву, так как ее температура ниже температуры окружающего воздуха, в которой размещаются трубы с циркуляционной водой. Данный способ не требует больших затрат.

Фотоэлектрические панели сделаны из материала, содержащего токсичные элементы: свинец, кадмий и другие. Поэтому ключевым вопросом в солнечной энергетике является способ утилизации оборудования. Отработанные солнечные батареи относятся к электронному мусору. Именно поэтому переработка – наиболее подходящий и безопасный способ утилизации панелей [9]. На данный момент известно, что только немецкие компании нашли способ успешно это реализовать. Сложность состоит в том, что 80 % фотоэлектрических отходов составляет кристаллический кремний, 20 % – тонкоплёночные элементы. И каждый из этих элементов должен утилизироваться по определенной технологии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230009_p_a.

Список литературы:

1. Анахин Н.Ю. Грошев Н.Г., Оноприйчук Д.А. Солнечные батареи – реальность или фантастика? // Вопросы науки и образования. – 2018. – № 26 (38). – С. 26–28.
2. Белгородский Институт альтернативной энергетики [Электронный ресурс]. [Белгород], 2013–2019. – URL: <http://www.altenergo-nii.ru/renewable/solar/>

3. Крамаренко П.Т. Грималовская И.П., Севоян Т.Р. Материалы покрытия, конструкция наружных поверхностей панелей солнечных установок // Приволжский научный журнал. – 2017. – № 2 (42). – С. 79–83.
4. Горбенко О.Н., Макарова А.А. О проблемах солнечной энергетики // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 97–101.
5. Цена панели солнечных батарей [Электронный ресурс] // Alibaba.com – URL : <https://russian.alibaba.com/g/solar-panel-price.html>
6. Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Каширин Д.А. Установка трекерных систем для повышения генерации электрической энергии солнечными батареями // Энергетические установки и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 71–76.
7. РИА Новости [Электронный ресурс]: В Китае заработала крупнейшая в мире плавучая солнечная электростанция. – URL : <https://ria.ru/20170815/1500383515.html>
8. Renyuan Li, Yusuf Shi, Mengchun, Wu [et al.]. Photovoltaic panel cooling by atmospheric water sorption–evaporation cycle [Электронный ресурс] // Nature Sustainability. – URL : <https://www.nature.com/articles/s41893-020-0535-4#citeas>
9. Econet [Электронный ресурс]: Утилизация солнечных модулей (панелей) // Проблемы, регулирование, практика.
10. Совет при Президенте по модернизации экономики и инновационного развития России. [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.i-russia.ru/energy/media/6234/>

УДК 621.314.58

**ПРОБЛЕМЫ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ****Копелевич
Лев Ефимович****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин
kklllev@mail.ru**Митин
Владислав Николаевич****Кубанский государственный технологический университет**
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
vladislav.mitin.1997@bk.ru**Артенян
Корюн Завенович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
zevs4998@mail.ru

Аннотация. В статье приведён обзор проблем и преимуществ ветряных электростанций. Описаны результаты и перспективы развития ветроэнергетической отрасли в России.

Ключевые слова: ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии, ветроустановки.

П о оценкам специалистов, запасы органического топлива на нашей планете (нефти, газа) в течение 100 лет полностью иссякнут. Данное утверждение является одной из главных причин исследования и разработки альтернативных источников энергии. В настоящее время к основному числу возобновляемых источников относят энергию солнца, ветра и вода. Из перечисленных возобновляемых источников – ветер наиболее эффективен [1]. Его энергетический потенциал на Земле, по оценкам Всемирной метеорологической организации, составляет около 170 триллионов кВт·ч в год. Это дает возможность выработки ветрогенераторами энергии в количестве $1,18 \cdot 10^{13}$ кВт·ч в год, эта цифра многократно превосходит количество общемировой потребляемой энергии.

Глобальный ветроэнергетический совет (GWEC) опубликовал ежегодный отчет о развитии ветроэнергетической отрасли в 2021 году, в котором говорится о положительных результатах развития отрасли за 2020 и 2021 гг. [2] Источник утверждает о том, что глобальная мощность мировой ветроэнергетики в настоящее время достигает 743 ГВт. По его прогнозам в ближайшие пять лет среднегодовым темп роста отрасли составит 6,6 %, и в период 2022–2026 гг. в мире построят ещё 557 ГВт ветровых электростанций.

По данным Российской ассоциации ветроиндустрии по состоянию, на конец 2021 года, установленная мощность ВЭС в России составляет 2043,44 МВт [3]. На карте ветропарков России (рис. 1) видно, что крупные ВЭС расположены в основном на севере и на юге страны. Связано такое явление с тем, что в данных регионах преобладает степная местность, где строительство ГЭС и АЭС затруднительно из-за малой численности, или отсутствия рек и озер.

Ветровые турбины используют энергию ветра для выработки электроэнергии. Ветер не только является обильным и неисчерпаемым ресурсом, но и обеспечивает электроэнергию без сжигания топлива или загрязнения воздуха [4]. Это помогает снизить нашу зависимость от ископаемого топлива и избежать выбросов миллионов тонн углекислого газа в атмосферу, которые наряду с другими выбросами вызывают кислотные дожди.

Наземные ветротурбины обеспечивают один из самых дешевых источников энергии, доступных на сегодняшний день. Кроме того, экономическая конкурентоспособность ветроэнергетики продолжает улучшаться благодаря достижениям в области науки и техники. Для преобразования энергии ветра в электроэнергию используются ветрогенераторы [5, 6, 7 и др.].



Рисунок 1 – Карта ветропарков, построенных и эксплуатируемых в России

Наряду с преимуществами, ветроэнергетика имеет и ряд недостатков, одним из которых является тот факт, что соответствующие ГОСТ [8] ветровые площадки часто находятся в отдаленных местах. Это создаёт трудности в доставке электроэнергии от ветряных электростанций в городские районы.

Некоторые учёные отмечают наличие повышенного уровня шума, который исходит от ветряных турбин, а также визуальное воздействие на эстетику ландшафта, к тому же, ветряные установки могут влиять на местную дикую природу. Проекты ветряных электростанций занимают более низкое место, чем другие энергетические разработки, с точки зрения воздействия на дикую природу, хотя играют важную роль в исследованиях, так как необходимо минимизировать взаимодействие ветра и дикой природы.

В монографии А.И. Позмогова говорится о важности операционной гибкости [9], что современное оборудование должно обладать высокой манёвренностью и минимальной зависимостью от окружающей среды. К примеру, современные газовые турбины обладают более высокой манёвренностью, нежели ветрогенераторы. Они имеют возможность быстрого запуска из холодного состояния и выходу на полную мощность, кроме того, с их помощью значительно проще подстроить график работы под необходимый спрос. С ВИЭ работать подобным образом не получится, потому что они зависят от погодных условий. Однако, американская компания General Electric на протяжении нескольких лет, небезуспешно решает данную задачу.

Несмотря на все имеющиеся недостатки ветроэнергетики, на данный момент в России действует с 2013 по 2024 г. программа стимулирования развития ВИЭ-генерации «ДПМ ВИЭ», при поддержке которой, были возведены в эксплуатацию множество ветряных электростанций, аттестованная мощность которых составила в мае 2021 г. составила 1,16 ГВт [10]. В связи с положительными показателями программы, в октябре 2020 г. вышло Распоряжению Правительства РФ № 2749–р, согласно которому программа ДПМ ВИЭ продлена до 2035 г.

Таким образом, развитие ветроэнергетики это общемировая тенденция. В первую очередь, данное явление связано с ограниченностью органических источников энергии на Земле, а также с огромным потенциалом энергии ветра. В России как и во многих других странах действует программа стимулирующая развитие ветрогенерации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230009 р_а.

Список литературы:

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. – М. : ИНФРА-М, 2005. –278 с.
2. Global Wind Energy Council. [Электронный ресурс]. – URL : <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf>

3. Российская ассоциация ветроиндустрии. [Электронный ресурс]. – URL : https://rawi.ru/wp-content/uploads/2022/03/rawi_wind_2021.pdf
4. Войцех О.Г. Новые перспективные ветроэлектрогенераторы // Инженер. – 2005. – № 11. – С. 8–9.
5. Пат. 2658316 RU. 9.07.2017. Многофазный ветрогенератор переменного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 20.06.2018 г. Бюл № 17.
6. Пат. 2636387 RU. 30.01.2017. Аксиальный трехходовый ветро-солнечный генератор / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.А. Яковенко // Оpubл. 23.11.2017. Бюл. № 33.
7. Пат. 2688925 RU. 22.03.2018. Стабилизированный вентильный аксиально-радиальный ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // Оpubл. 23.05.2019 г. Бюл № 15.
8. ГОСТ Р 54435-2011. Сооружения ветроэлектростанций. Требования безопасности : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2011 г. № 380-ст : дата введения 2012-07-01. – М. : Стандартиформ, 2012. – 7 с.
9. Позмогов А.И., Гергиев И.Э. Будущее российского инновационного бизнеса: тенденции постцифровой эпохи : монография / под ред. А.И. Позмогова. – М. : РУСАЙНС, 2019. – 250 с.
10. Министерство энергетики Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – URL : <https://minenergo.gov.ru/node/20884>

УДК 621.383

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ-ГЕНЕРАТОРА

Попов С.А.

Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
sa_porov@inbox.ru

Асташов М.А.

Кубанский государственный технологический университет
лаборант кафедры электротехники и электрических машин
i.am.jlaku@gmail.com

Ибеоджо Г.О.

Кубанский государственный технологический университет
студент
ibeojogodwin@yahoo.com

Аннотация. Данная статья посвящена определению показателей безотказной работы гибридной электрической машины-генератора.

Ключевые слова: ветро-солнечный генератор, надежность электромеханических устройств, гибридные преобразователи, экология, возобновляемые источники энергии, солнечная энергия.

Электромеханические преобразователи энергии находят все большее применение в альтернативной энергетике. Одной из перспективных разработок является гибридная электрическая машина-генератор (ГЭМГ) [1–5]. Данный электромеханический преобразователь находит свое применение в альтернативной энергетике [6–9]. Так как ГЭМГ является новой разработкой, то существует необходимость создать достоверную модель надежности работы данной машины.

Для расчета надежности ГЭМГ необходимо определить количественную оценку вероятности безотказной работы машины в целом $P(t)$ в течении заданного промежутка времени. ГЭМГ является сложным электромеханическим устройством, так как она состоит из нескольких основных частей, каждая из которых характеризуется своим уровнем надежности, при этом выход из строя какой-либо из частей приведет к отказу работы машины. Так как все комплектующие детали ГЭМГ являются серийно изготавливаемыми, то расчет конструкционной надежности данного электромеханического преобразователя следует начать с составления структурной схемы (рис. 1) на основании которой будет составлено уравнение безотказной работы всей системы.

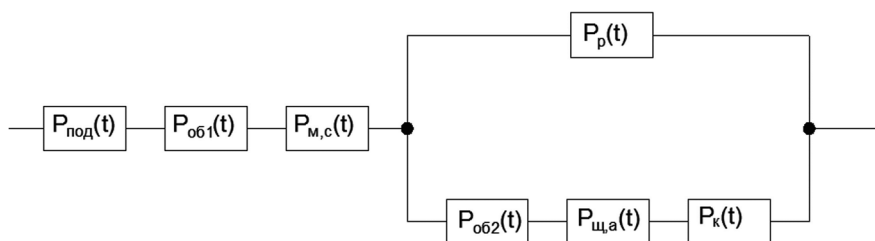


Рисунок 1 – Структурная схема элементов гибридной электрической машины-генератора

Уравнение безотказной работы [10] всех элементов гибридной электрической машины-генератора, исходя из рисунка 1, будет выглядеть следующим образом:

$$P(t) = P_{об1}(t) \cdot P_{под}(t) \cdot P_{м,с}(t) \times \\ \times (P_p(t) + P_{об2}(t) \cdot P_{щ,а}(t) \cdot P_к(t) - P_p(t) \cdot P_{об2}(t) \cdot P_{щ,а}(t) \cdot P_к(t)), \quad (1)$$

где $P_{\text{под}}(t)$ – вероятность безотказной работы подшипников машины; $P_{\text{об1}}(t)$ – вероятность безотказной работы обмотки статора; $P_{\text{м, в}}(t)$ – вероятность безотказной работы магнитной системы; $P_{\text{р}}(t)$ – вероятность безотказной работы редуктора; $P_{\text{об2}}(t)$ – вероятность безотказной работы обмотки якоря; $P_{\text{щ.а}}(t)$ – вероятность безотказной работы щеточного аппарата; $P_{\text{к}}(t)$ – вероятность безотказной работы коллектора.

Определим каждый из показателей уравнения 1.

Безотказная работа подшипников определим следующим уравнением

$$P_{\text{под}}(t) = e^{-(\lambda_0 \cdot t^k)}, \quad (2)$$

где λ_0 и k – параметры распределения Вейбулла, определяющиеся экспериментально и зависящие от отношения средней долговечности подшипника к ее табличному значению.

Безотказная работа обмоток якоря и статора определится следующим уравнением:

$$P_{\text{об1}}(t) = P_{\text{к.а}}(t) \cdot P_{\text{о}}(t) \cdot P_{\text{ок}}(t) = e^{-(\lambda_{\text{кз}} + \lambda_0 + \lambda_{\text{ок}})t}, \quad (3)$$

где $P_{\text{к.а}}(t)$ – вероятность безотказной работы обмотки до «короткого замыкания»; $P_{\text{о}}(t)$ – вероятность безотказной работы обмотки до «обрыва»; $P_{\text{ок}}(t)$ – вероятность безотказной работы обмотки до «обрыва мест паяк»; $\lambda_{\text{ка}}$ – средняя интенсивность отказа по причине короткого замыкания; λ_0 – средняя интенсивность отказа по причине обрыва; $\lambda_{\text{кз}}$ – средняя интенсивность отказа по причине нарушения паяк.

Вероятность безотказной работы щеточного аппарата определим следующим уравнением:

$$P_{\text{щ.а}}(t) = P_{\text{щ.д}}(t) \cdot P_{\text{щ}}(t) = [e^{-\lambda_{\text{щ.д}} t}]^2 \cdot \left[\frac{1}{2} - \Phi_1\left(\frac{t-T}{\sigma_{\text{щ}}}\right) \right]^2, \quad (4)$$

где $P_{\text{щ.д}}$ – вероятность безотказной работы щеткодержателей; $P_{\text{щ}}(t)$ – вероятность безотказной работы щеток; $\lambda_{\text{щ.д}}$ – средняя интенсивность отказа одного щеткодержателя; $\Phi_1\left(\frac{t-T}{\sigma_{\text{щ}}}\right)$ – нормированная функция Лапласа.

Вероятность безотказной работы коллектора определится следующей формулой:

$$P_{\text{к}}(t) = e^{-(\lambda_{\text{к}} t)}, \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{к}}$ – средняя интенсивность отказа коллектора.

Вероятность безотказной работы одноступенчатого редуктора определим согласно [11] $P_{\text{р}}(t) = 0,95$.

Так как магнитная система практически никогда не выходит из строя, то вероятность безотказной работы ее, с большей вероятностью составит $P_{\text{м, в}}(t) = 1$.

С учетом формул (2–5) итоговая вероятность безотказной работы будет:

$$P(t) = P_{\text{об1}}(t) \cdot P_{\text{под}}(t) \cdot P_{\text{м, в}}(t) \cdot (P_{\text{р}}(t) + P_{\text{об2}}(t) \cdot P_{\text{щ.а}}(t) \times \\ \times P_{\text{к}}(t) - P_{\text{р}}(t) \cdot P_{\text{об2}}(t) \cdot P_{\text{щ.а}}(t) \cdot P_{\text{к}}(t) = \\ 0,97 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot (0,95 + 0,96 \cdot 0,92 \cdot 0,9 - 0,95 \cdot 0,96 \cdot 0,92 \cdot 0,9) = 0,92.$$

Итоговая вероятность безотказной работы гибридной электрической машины генератора $P(t) = 0,92$, что соответствует показателям для ответственных систем общепромышленного и сельскохозяйственного назначения, а так же отдельные приборы и устройства. Таким образом гибридная электрическая машина-генератор может быть использована в альтернативной энергетике для снабжения потребителей I, II, и III категорий надежности электроснабжения.

Список литературы:

1. Пат. РФ № 2629017, Оpubл. 24.08.2017. Бюл. № 24. Гибридная аксиальная электрическая машина-генератор // Попов С.А., Попов М.С.
2. Попов С.А., Асташов М.А., Радивоевич А.В. Расчет магнитной цепи гибридного ветро-солнечного генератора // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 2. – С. 10–17.
3. Методика расчета предварительных геометрических параметров гибридной электрической машины-генератора / С.А. Попов [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 1. – С. 50–57.
4. Определение расчетной мощности для гибридной электрической машины генератора на основе критерия допустимых электромагнитных нагрузок / М.А. Асташов [и др.] // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 2. – С. 213–215.
5. Попов С.А., Асташов М.А. Разработка математической модели гибридной электрической машины-генератора // Инженерные технологии в сельском и лесном хозяйстве : материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 74–78.
6. Асташов М.А., Попова С.В., Черкасский П.А. Гибридная электрическая машина-генератор для локальных ветро-солнечных электростанций // Инженерные технологии в сельском и лесном хозяйстве : материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 9–12.
7. Обоснование применения гибридных ветро-солнечных энергоустановок на основе электромеханических преобразователей / С.А. Попов [и др.] // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы : материалы I Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и преподавателей, посвященной 60-летию со дня образования Армавирского механико-технологического института.. – 2019. – С. 76–79.
8. Актуальность использования гибридных микро ветро-солнечных электростанций на территории Краснодарского края / С.А. Попов [и др.] // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы : материалы II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и преподавателей. – 2020. – С. 18–21.
9. Косолапов А.В., Асташов М.А., Попова С.В. Гибридный ветро-солнечный генератор для возобновляемой энергетики // Технические и технологические системы: материалы восьмой Международной научной конференции «ТТС-20». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 104–110.
10. Ермолин Н.П., Жерихин И.П. Надежность электрических машин. – Л. : Энергия, 1976. – 248 с.
11. Редукторы и мотор-редукторы общемашиностроительного применения: Справочник / Л.С. Бойко [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 247 с.

УДК 621.311.29

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ТРЕКЕРА ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

**Попов
Сергей Анатольевич**

Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
sa_porov@inbox.ru

**Кривченков
Владимир Игоревич**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
vldmrkr5@ya.ru

**Помещенко
Дмитрий Николаевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент
d_p_14@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке экспериментальной установки трекера для солнечной батареи. Положительным результатом является увеличение выработки электроэнергии фотоэлектрической станцией. В установке предлагается использовать ранее разработанный алгоритм, повышающий надежность системы благодаря упрощению конструкции и учитывающий отраженное излучение в определении положения батарей. Для привода трекера применен бесщеточный двигатель постоянного тока с червячным редуктором. Система управления реализована на микроконтроллере. Разработан контроллер заряда аккумуляторной батареи.

Ключевые слова: солнечная батарея, трекер, алгоритм, электропривод, система управления.

Развитие солнечной энергетики в настоящее время ставит задачу постоянного повышения эффективности преобразования энергии солнечного излучения в электроэнергию.

Влияние угла наклона солнечных лучей α на выходной ток солнечной батареи I_{CB} определяется косинусоидальной зависимостью, но при значении угла α больше 50° эта зависимость отклоняется от идеальной и при угле падения лучей равном 85° СБ не вырабатывает электроэнергию:

$$I_{CB} = \begin{cases} I_0 \cos \alpha, & \text{при } \alpha \leq 50^\circ; \\ I_0 (k_1 \alpha + k_2), & \text{при } \alpha > 50^\circ, \end{cases}$$

где ток I_0 – максимальный ток СБ при падении солнечных лучей перпендикулярно поверхности; $k_1 = -1,052$; $k_2 = 1,561$ – коэффициенты [0].

Конструкция источника энергоснабжения с СБ может быть реализована в виде фиксированной системы и системы с применением трекера, который ориентирует панели для наилучшей выработки электроэнергии.

Трекеры солнечных батарей подразделяются на горизонтальную и наклонную одноосевую и двухосевую системы. В первых двух отслеживается только угол прямого восхождения [0], в то время как в двухосевой системе регулировка производится по двум углам.

Определение положения Солнца в трекерах чаще всего проводится с помощью датчиков освещенности (фоторезисторов) различных конструкций. Также нередко применяется задание положения СБ по времени суток и координатам. Из недостатков этих

методов можно отметить снижение надежности ввиду применения датчиков и отсутствие учета отраженного излучения во втором методе.

В [0] был разработан алгоритм слежения для наклонного одноосевого трекера, который позволит избавиться от датчиков освещенности и использовать отраженное излучение Солнца. Алгоритм основан на измерении выходных параметров СБ (напряжение, ток, мощность) и принятии соответствующего решения о дальнейшем движении солнечной панели.

Для проверки разработанного алгоритма и получения экспериментальных данных была спроектирована установка, чертеж которой показан на рисунке 1. Угол наклона солнечной батареи выбран оптимальным для г. Краснодара и равен 34° [0].

Солнечная панель установлена на алюминиевом каркасе, который напрямую соединяется с червячным редуктором с передаточным соотношением 60:1 для возможности поворота батареи за Солнцем. Благодаря применению червячного редуктора после поворота установка фиксируется в текущем положении и не может быть сдвинута, например, порывом ветра.

Для вращения СБ в экспериментальной установке применен бесщеточный двигатель с постоянного тока (БДПТ). Такой тип двигателя имеет высокую надежность и энергоемкость [0]. Наличие в нем встроенных датчиков Холла позволяет отслеживать вращение ротора и осуществлять коммутацию обмоток в определенный момент времени.

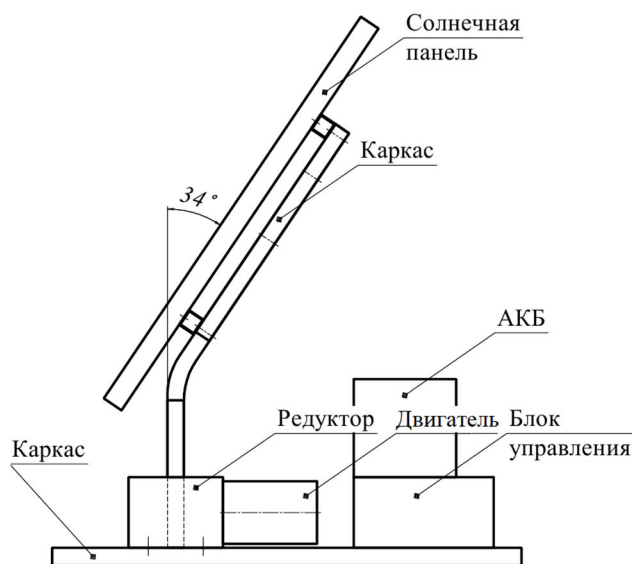


Рисунок 1 – Экспериментальная установка

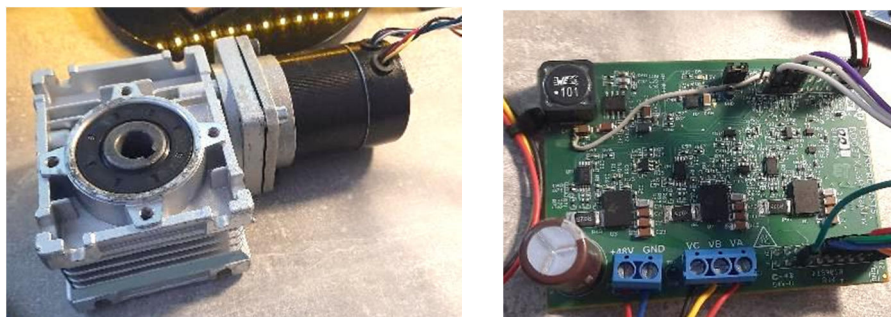


Рисунок 2 – Motor с червячным редуктором (слева) и инвертор (справа)

Блок управления включает в себя всю электронную часть установки – отладочная плата на микроконтроллере STM32, контроллер заряда аккумуляторной батареи (АКБ) и трехфазный инвертор для управления электродвигателем. Блок-схема установки показана на рисунке 3. Здесь пунктиром показаны управляющие сигналы, сплошной линией – силовые, а жирной стрелкой обозначена механическая связь.

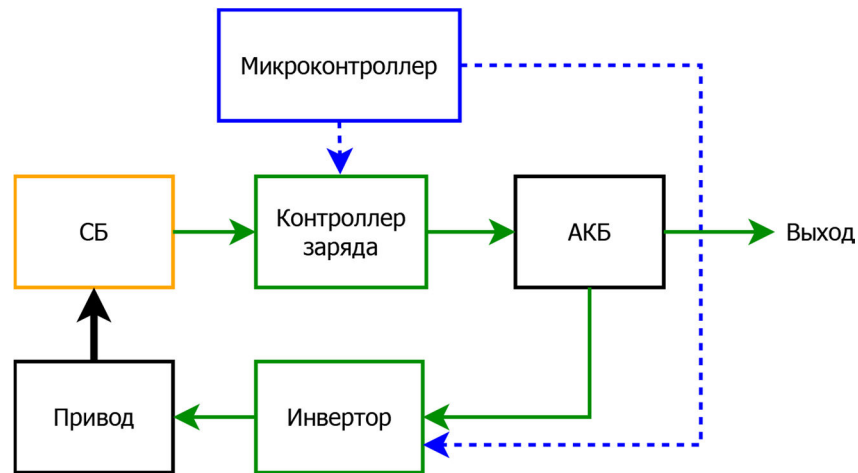


Рисунок 3 – Блок-схема установки

Программа, формирующая управляющие сигналы для привода установки и реализующая алгоритм ориентации солнечной панели, выполняется в микроконтроллере STM32F4, который расположен на готовой отладочной плате (рис. 4). Инвертор для двигателя выполнен также в виде готового модуля, показанного на рисунке 2. На плате инвертора установлены датчики тока фаз двигателя, что позволяет получать заданные значения тока, а также формировать определенную его форму.

Для заряда АКБ разработан контроллер заряда, представляющий из себя понижающий преобразователь с управлением от микроконтроллера. При этом реализуется метод поиска точки максимальной мощности (ТММ) [0]. Плата преобразователя показана на рисунке 4. На плате контроллера предусмотрена измерительная часть для получения величин тока и напряжения солнечной батареи (входа) и аккумулятора (выхода). Ток измеряется при помощи шунта, сигнал с которого попадает на дифференциальный усилитель, построенный на операционном усилителе. Далее усиленный сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера. Сигнал напряжения СБ и АКБ проходит через делитель и затем поступает на вход АЦП.

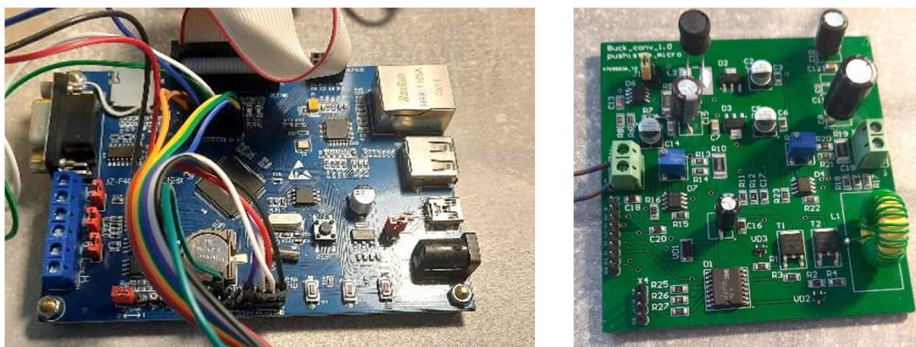


Рисунок 4 – Платы микроконтроллера (слева) и понижающего преобразователя (справа)

Внешний вид установки показан на рисунке 5. Как видно, конструкция трекера довольно простая и содержит в себе минимум конструктивных элементов.

Таким образом, проектируемая установка позволит провести исследование разработанного алгоритма слежения для солнечного трекера и получить в дальнейшем экспериментальные данные. Применение солнечного трекера дает возможность повысить выработку электроэнергии СБ и, как следствие, уменьшить ее требуемые размеры. Это в свою очередь повлечет снижение ветровой нагрузки на панель и повысит надежность конструкции.

Отметим также, что в установке применены компоненты с завышенными характеристиками (инвертор, микроконтроллер). Это дает возможность понять необходимые ресурсы системы и в дальнейшем упростить и удешевить конструкцию трекера.



Рисунок 5 – Экспериментальная установка

Список литературы:

1. Попов С.А., Кривченков В.И. Актуальность применения и виды систем наведения солнечных батарей // Научные труды КубГТУ. – 2021. – № 5. – С. 88–93.
2. Попов С.А., Кривченков В.И., Тулиев К.А. Алгоритм слежения для трекера солнечной батареи // Научные труды КубГТУ. – 2022. – № 4. – С. 122–129.
3. Global Solar Atlas. – URL : <https://globalsolaratlas.info/map>
4. Обзор магнитных структур синхронных двигателей с постоянными магнитами / С.А. Попов [и др.] // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2021. – № 40. – С. 76–92.
5. Попов С.А., Кривченков В.И., Ивашкин И.И. Методы определения точки максимальной мощности фотоэлектрического модуля // Научные труды КубГТУ. – 2021. – № 4. – С. 146–154.

УДК 621.314.58

**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ****Самородов
Александр Валерьевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и
электрических машин
alex.samorodoff@gmail.com**Алёнкин
Максим Васильевич****Кубанский государственный технологический университет**
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
alenkin_96@inbox.ru**Кашин
Александр Яковлевич****Войсковая часть**
kashin89@mail.ru

Аннотация. В статье дан аналитический обзор потенциальных возможностей и перспектив использования нетрадиционных источников энергии.

Ключевые слова: энергетика, возобновляемые источники, нетрадиционная энергетика, электроснабжение.

Наиболее приоритетным направлением мирового экономического развития является усовершенствования энергоэффективности. Существенную часть несёт в себе использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Данный источник ресурсов может представлять основы интонационной, новой, экономики при рациональном использовании. С применением ВИЭ могут выйти на новый уровень экологические, технологические, перспективы энергоэффективности.

К числу мировых и наиболее перспективных ВИЭ с наибольшим потенциалом, можно отнести; ветроэнергетика, солнечная энергетика, биоэнергетика. В рамках рынка энергопотребления перспективе видится доля ветровой, атомной, солнечной энергии на данный момент и ближайшем будущем [1].

Важнейшим преимуществом ветроэнергетики является неисчерпаемость ресурса, экологическая частота, и доступность. Использование ветроэнергетических систем позволит экономить ископаемые топлива сократить выбросы вредных газов в атмосферу. К недостаткам можно отнести неравномерность отпуска электроэнергии с ветрогенератора в энергосистему, что обусловлено различной скоростью ветра. Технологическая перспектива применения ветроэнергетического комплекса на территории центра юга России целесообразна по географическим и климатическим, природным составляющих и экономически целесообразна.

Солнечная энергетика организовывается на использовании энергии солнца, методом преобразования солнечной энергии в энергию воздушного потока, и методом генерации водяного пара внутри баллона азростата за счёт нагрева солнечным излучением поверхности азростата. Данный метод применения ВИЭ применим для регионов с высокой солнечной активностью, где сильное солнечное излучение, и наоборот, малодоступна в регионах с малым количеством солнечных дней в году. Технологические перспективы по применению солнечная энергетика в условиях центра юга России является благоприятной, так как графическая составляющая территории позволяет в полной мере развивать данный вид ВИЭ в технических комплексах [1].

Для России тематика ВИЭ на экономическом и государственном уровне менее актуальна, в силу обеспеченности углеводородным сырьем, в связи с этим, доля возобновляемых источников энергии в структуре генерации составляет 2 %. Согласно прогнозам развития электроэнергетики России, составляющая ВИЭ к 2060 г. должна

приблизиться к 10 %, что дает общинное поле для реализации и дальнейшей деятельности в области применения и совершенствования ВИЭ. Развитие энергетики на основе ВИЭ может привести к колоссальным изменениям в традиционной энергетике, базирующейся на углеводородном топливе, ядерном и термоядерном синтезе, а также к существенному сокращению выброса CO₂.

«Мирный атом» после Чернобыля и Фукусимы характеризуется весьма опасным в эксплуатационном смысле сырьем, как и в отношении отходов производства, которые представляют угрозу для человека и окружающей среды течение долгих лет. На сегодняшний день нет технически совершенных средств для безопасной добычи водорода [2].

По универсальности, для Российской Федерации, по мнению учёных, одним из самых перспективных направлений в области возобновляемых источников является геотермальная энергия. Данный вид энергии существует за счёт радиоактивности в результате движения тектонических пластов.

Недостатки: потребность в возвращении горячих вод в недра земли, из-за содержащихся в ней вредных веществ способные купить все живое.

В РФ резервы геотермальных источников намного больше запасов органического топлива, порядка 10–15 раз. На территории РФ обнаружено около 50 месторождений этого вида энергии.

В настоящее время формирование ВИЭ сталкивается со множеством проблем технологического, экономического характера [2]. Производство электроэнергии сопряжено с неуправляемыми природными условиями, что вносит неустойчивость и разбалансированность в вопросе генерации электроэнергии. Возможным решением данной проблемы является использование эффективных накопителей энергии, находящихся на стадии разработки. Ввиду стоимости электроэнергии, генерируемой ВИЭ, грубо обозначенную направленность к снижению, текущий уровень стоимости все еще остается высоким в большинстве стран мира [2].

В качестве преобразователей световой и тепловой энергии Солнца, кинетической энергии ветра весьма перспективны разработанные на кафедре электротехники и электрических машин КубГТУ ветро-солнечные генераторы и генераторные установки [3–6 и др.], а также гибридные энергетические комплексы [7 и др.].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230009 р_а.

Список литературы:

1. Сокольский А.К. Ветроэнергетика за рубежом и в России – современное состояние и перспективы // Сб. «Возобновляемые источники энергии». – М. : МГУ, 2005. – С. 135–154.
2. Дзюбан Д.П., Панкова Т.А. Проблемы энергетики России // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплоснабжения и энергообеспечения : материалы X Национальной конференции с международным участием. – Саратов, 2020. – С. 93–95.
3. Ветросолнечная двухвходовая генераторная установка / Я.М. Кашин [и др.] // Сельский механизатор. – М. : ООО «Нива», 2019. – № 7. – С. 32–34.
4. Ветро-солнечный генератор и его характеристики / Я.М. Кашин [и др.] // Электронный сетевой политематический научный журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 6. – С. 201–214. – URL : <https://elibrary.ru/contents.asp?id=40537087>
5. Пат. 2688925 RU. 22.03.2018. Стабилизированный вентильный аксиально-радиальный ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // Оpubл. 23.05.2019. Бюл № 15
6. Трехвходовая ветро-солнечная генераторная установка / А.Я. Кашин [и др.] // Матер. X Межд. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-19. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019 – С. 200–205.
7. Пат. 2759192 RU, 16.03.2021. Гибридный энергетический комплекс // Я.М. Кашин // Оpubл. 10.11.2021. Бюл. № 31.

УДК 621.31

СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Самородов
Александр ВалерьевичКубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
alex.samorodoff@gmail.comКим
Владимир
АлександровичКубанский государственный технологический университет
студент
cxzpwneclolz@gmail.comСилин
Святослав
ВладимировичКубанский государственный технологический университет
студент
dvd.firess@gmail.com

Аннотация. В статье представлена информация о принципе работы коллектора солнечной энергии, процесс преобразования солнечной энергии в тепловую энергию теплоносителя, рассмотрен актуальный пример действующей солнечной электростанции.

Ключевые слова: электростанция, солнечный коллектор, тепловая энергия, альтернативная энергетика, концентратор.

Одним из инновационных направлений модернизации систем электроснабжения, позволяющим сократить энергозатраты, является применение солнечных коллекторов.

Солнечный коллектор – это устройство, предназначенное для поглощения солнечной энергии, которая переносится видимым и ближним инфракрасным излучением для последующего её преобразования в тепловую энергию, пригодную для использования [1].

Коллектор состоит из элемента, поглощающего солнечное излучение (абсорбер), прозрачного покрытия и термоизолирующего слоя. Абсорбер связан с теплопроводящей системой. Он покрывается чёрной краской либо специальным селективным покрытием (обычно чёрный никель или напыление оксида титана) для повышения эффективности. Прозрачный элемент обычно выполняется из закалённого стекла с пониженным содержанием металлов, либо особого рифлёного поликарбоната. Задняя часть панели покрыта теплоизоляционным материалом (например, полиизоцианурат). Трубки, по которым распространяется теплоноситель, изготавливаются из сшитого полиэтилена либо меди. Сама панель является воздухонепроницаемой, для чего отверстия в ней закрываются силиконовым герметиком.

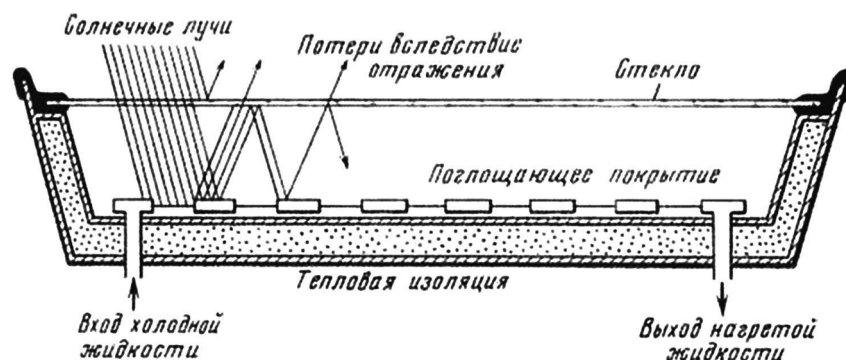


Рисунок 1 – Схема плоского солнечного коллектора

В России действуют следующие нормативные документы: ГОСТ Р 51595–2000 «Коллекторы солнечные. Общие технические условия», ГОСТ Р 51596–2000 «Коллекторы солнечные. Методы испытаний» [2,3]. На основе общепризнанной математической модели солнечного коллектора Хоттеля-Уиллера-Блисса его КПД определяется по формуле [4,5]:

$$\eta = \frac{Q_{СК}}{I_s} = F' \left(\tau\alpha - U_L \frac{t_{жк} - t_a}{S} \right), \quad (1)$$

где U_L – общий коэффициент тепловых потерь, Вт/(м²·К); $t_{жк}$ – средняя температура жидкости в коллекторе, К; t_a – температура окружающего воздуха, К; F' – это коэффициент эффективности поглощающей панели.

Для оценки эффективности СК по формуле (1) необходимы значения параметров t , α , F' и U_L . С учётом изменяющихся при работе коллектора интенсивности суммарной солнечной радиации, температур теплоносителя и окружающего воздуха расчёты по данной формуле не имеют практической значимости. Для объективной оценки тепловой эффективности солнечного коллектора на практике в России применяют полученные на основе формулы (1) экспериментальные зависимости вида (2):

$$\eta = \alpha - \beta x, \quad (2)$$

где $\alpha = F't_a$; $\beta = U_L F'$; $x = (t_{жк} - t_a)S$.

В качестве актуального примера в Марокко построена самая большая в мире электростанция на солнечных коллекторах «СЭС Нур Уарзазат», пиковая мощность которой составляет 580 МВт.

Расположенный на территории площадью 3000 гектаров, солнечный комплекс состоит из четырех отдельных солнечных электростанций. Комплекс использует различные технологии:

- Нур Уарзазат I и II: цилиндропараболическое зеркало.
- Нур Уарзазат III: башенная солнечная электростанция.
- Нур Уарзазат IV: фотоэлектрическая станция.

Уровень годовой солнечной радиации здесь составляет 2635 кВтч/м². Это один из наиболее высоких показателей в мире.

СЭС Уарзазат ежегодно производит безуглеродную энергию, эквивалентную 2,5 миллионам тонн импортируемой нефти, одновременно создавая потенциал для «зеленого экспорта» в соседние страны. Совершенно очевидно, что в ближайшие годы СЭС Нур Уарзазат будет благоприятствовать ослаблению энергетической зависимости Марокко и окажет положительное влияние на местную экономику.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230009 р_а.

Список литературы:

1. Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. – Долгопр. : ИД «Интеллект», 2013.
2. ГОСТ Р 51594–2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. – М. : Госстандарт России, 2000.
3. ГОСТ Р 51596–2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний. – М. : Госстандарт России, 2000.
4. Фрид С.Е. Методы тепловых испытаний солнечных коллекторов. Препринт № 3/248. – М. : ИВТАН СССР, 1988.
5. Методика определения тепловых характеристик солнечных коллекторов в лабораторных условиях / Ю.Н. Малевский [и др.] // Гелиотехника, 1990. – № 4.

УДК 621.314.58

СРАВНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ЧАСТИЧНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ И ПОЛНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

**Самородов
Александр Валерьевич**

Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
alex.samorodoff@gmail.com

**Обинванне
Учечукву Эммануэль**

Кубанский государственный технологический университет
студент
obinwanneuche@gmail.com

**Омо-Икеродах
Эммануэль Ошион**

Кубанский государственный технологический университет
студент
oshionedj@gmail.com

Аннотация. В статье представлено сравнение преимуществ и недостатков солнечной электростанции с частичным и полным резервированием аккумуляторными батареями.

Ключевые слова: солнечная электростанция, резервные системы, полное резервирование, частное резервирование.

В случае, когда солнце садится или когда отключается электричество, необходима энергия из электросети, поэтому ежемесячный счет за электроэнергию повышается, а в случае отключения электроэнергии пользователи вообще останутся без электричества.

Для того, чтобы избежать этого, необходима система хранения электрической энергии. Когда солнечные панели не производят достаточно энергии, чтобы удовлетворить спрос, пользователь может подключиться к своей аккумуляторной батарее и продолжать обеспечивать свои дома запасенной энергией. Это можно сделать после захода солнца, когда на улице пасмурно, а также при отключении электроэнергии.

Для этого устанавливается переключатель, который отключает резервные цепи и батарею дома от сети, чтобы система могла создать микросеть в доме. Расположение этого переключателя определяет, резервирует ли система весь дом или только его часть.



Рисунок 1 – Резервные системы с полной и частичной нагрузкой

Поместив переключатель перед ВСЕМИ цепями, весь дом будет зарезервирован. Когда система обнаруживает сбой в сети, выключатель отключается от сети, и все цепи дома питаются от микросети, созданной аккумуляторной батареей. Это позволяет подавать питание на все цепи во время отключения и дает заказчику плавный переход от сети к питанию от аккумуляторов (рис. 1).

На изображении слева коммутатор (GATEWAY) расположен перед всеми цепями дома, создавая резервную сеть дома. На изображении справа коммутатор (GATEWAY) расположен за некоторыми цепями дома, создавая частичную резервную сеть дома.

Солнечная электростанция с частичным резервированием аккумуляторами

В большинстве жилых домов модели потребления электроэнергии для определенных целей совершенно регулярны и предсказуемы. Холодильники, осветительные приборы и зарядные устройства для смартфонов и ноутбуков, например, потребляют минимальное количество электроэнергии, что делает их устройствами с «низким риском» для исключения из электрической цепи, подключенной к сети. Представьте, если бы вы могли использовать их круглосуточно и без выходных, зная, что они работают на вашей домашней солнечной энергии, что делает вас в значительной степени независимым от сети, но также обеспечивает комфортный отдых с доступом к сети, когда вам это нужно для остальной части вашего дома. Эта система не питает все нагрузки и не предназначена для этого. Вместо этого она интегрируется в дом, поэтому питает только важные домашние системы. В большинстве случаев аккумуляторная система с частичной нагрузкой является наиболее реалистичным и достижимым средством защиты вашего дома от неудобств отключения электроэнергии.

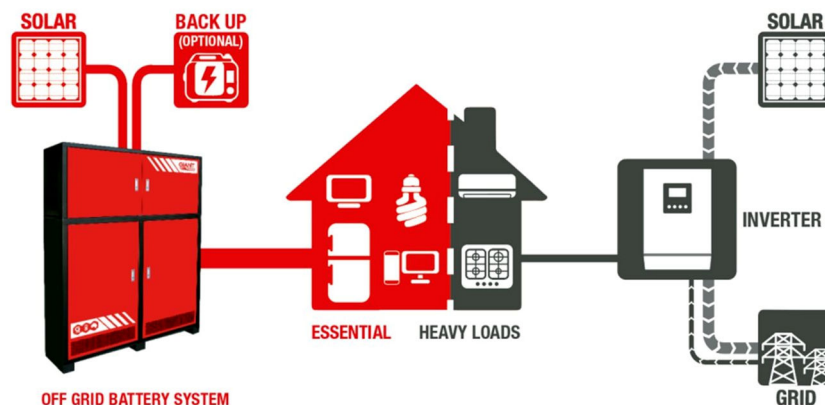


Рисунок 2 – Частичная автономная солнечная система

Солнечная электростанция с полным резервированием аккумуляторами

Это резервная система, обеспечивающая резервное электроснабжение всего дома.

Эта система гораздо менее практична. Если потребитель выберет батарею большего размера, предназначенную для питания всего дома, он сможет обеспечить питание всего дома, но только на несколько часов. Такие системы не способны обеспечивать дом электроэнергией в течение нескольких дней. Аккумулятор быстро разрядится до тех пор, пока электроснабжение не возобновится. Даже очень большая аккумуляторная система не может хранить достаточно электроэнергии для питания всего дома в течение очень долгого времени, и независимо от объема накопленной энергии, аккумуляторные системы часто не могут полностью удовлетворить потребности хозяйства в энергии.

Вывод:

Основными преимуществами частично автономной солнечной установки являются:

- Меньшие первоначальные затраты по сравнению с полным отключением дома от сети (нужно вкладывать меньше денег в избыточную емкость солнечных батарей и аккумуляторов).

- Более высокий уровень энергетической независимости дома (использование сети только для более тяжелых и непредсказуемых нагрузок).
- Не нужно беспокоиться о степени заряда батареи (система рассчитана только на предсказуемые нагрузки).
- Основные нагрузки остаются включенными, даже когда сеть отключена (Также можно подключить дополнительные устройства к автономной цепи).
- Электропитание от сети доступно, когда это необходимо (в дополнение к автономной системе также возможно иметь подключенную к сети солнечную систему).
- Экономьте деньги на счетах за электроэнергию – вы никогда не увидите счета за энергию, поставляемую вам вашими солнечными батареями и батареями.

Основные недостатки частично автономной системы:

- У потребителя по-прежнему есть счет за электроэнергию (с полностью автономной системой у него не будет счетов за электроэнергию).

Понимание затрат, возможностей и ограничений этих двух подходов к хранению энергии поможет вам лучше принять решение, соответствующее вашим потребностям. По многим причинам, изложенным выше, система резервного питания с частичной нагрузкой гораздо более реалистична, полезна и доступна для домовладельцев.

Список литературы:

1. <https://www.capitalcitysolar.com/2020/02/03/whole-home-vs-partial-load-energy-battery-systems>
2. <https://ilumsolar.com/why-partial-load-battery-more-effective>
3. <https://help.sempersolaris.com/s/article/What-is-the-difference-between-a-whole-home-backup-and-a-partial-home-backup>
4. https://ru.made-in-china.com/co_oneinverter/product-group/mppt-solar-charge-controller_hyongrsgg_1.html

УДК 62-622

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОРОДНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ В СИСТЕМАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

**Сыпало
Евгений Борисович**

Кубанский государственный технологический университет
студент

**Прохоренко
Никита Ярославович**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
classyadvets@gmail.com

Аннотация. В статье предложены алгоритм для управления водородным топливным элементом с наименьшим потреблением электроэнергии для поддержания его работы.

Ключевые слова: топливный элемент, водород, гибридная система, альтернативная энергетика.

В статье предложен алгоритм управления водородным топливным элементом (ВТЭ) основываясь на статье [1].

Математическая модель водородного топливного элемента представлена следующими формулами:

$$E_{oc} = K_c E_n$$

$$i_0 = \frac{zFk(P_{H_2} + P_{O_2})\Delta v}{Rh} e^{\frac{-\Delta G}{RT}}$$

$$A = \frac{RT}{z\alpha F},$$

где R – универсальная газовая постоянная 8,3145 Дж/(моль·К); F – постоянная Фарадея 96485 Кл/моль; z – количество движущихся электронов; E_n – напряжение Нернста (В); α – коэффициент переноса заряда, который зависит от типа используемых электродов и катализаторов; P_{H_2} – парциальное давление водорода внутри стека (Па); P_{O_2} – парциальное давление кислорода внутри стека (Па); k – постоянная Больцмана $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; h – постоянная Планка $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; Δv – активационный барьерный объемный коэффициент (м³); ΔG – размер активационного барьера (Дж/моль); T – рабочая температура (К); K_c – постоянное напряжение при номинальном режиме работы.

Основные внешние факторы, которые влияют на выходные характеристики ВТЭ: давление водорода, давление кислорода, температура ячеек. Отметим, что для топливных элементов с протонообменной мембраной кислород берется из воздуха путем нагнетания его кулером. В таких случаях давление воздуха не оказывает влияния, а его количество непосредственно сказывается на выходной мощности.

Описание алгоритма для гибридных систем

Вначале происходит измерение тока и напряжения ВТЭ. Затем осуществляется проверка рабочего напряжения в зависимости от номинального, если рабочее напряжение не входит в диапазон номинального напряжения, то происходит открытие клапана подачи водорода.

В том случае, когда ВТЭ вошел в рабочий режим осуществляется измерение основных характеристик: напряжения, тока и температуры с отправкой их на пульт телеметрии. Следом происходит проверка двух условий. Первое условие рабочая тем-

пература больше номинальной температуры и второе условие паспортная мощность ВТЭ должна быть равна разнице между мощностью на выходе гибридной системы и мощностью второго источника энергии. Если одно из условий выполняется, то увеличиваем количество оборотов на кулере, в другом случае кулер выключается.

Таким образом применяя гидравлический расчет для шлангов ВТЭ можно подобрать необходимое время для стравливания водорода в системе. А для управления скоростью кулера использовать транзистор и управлять его скважностью.

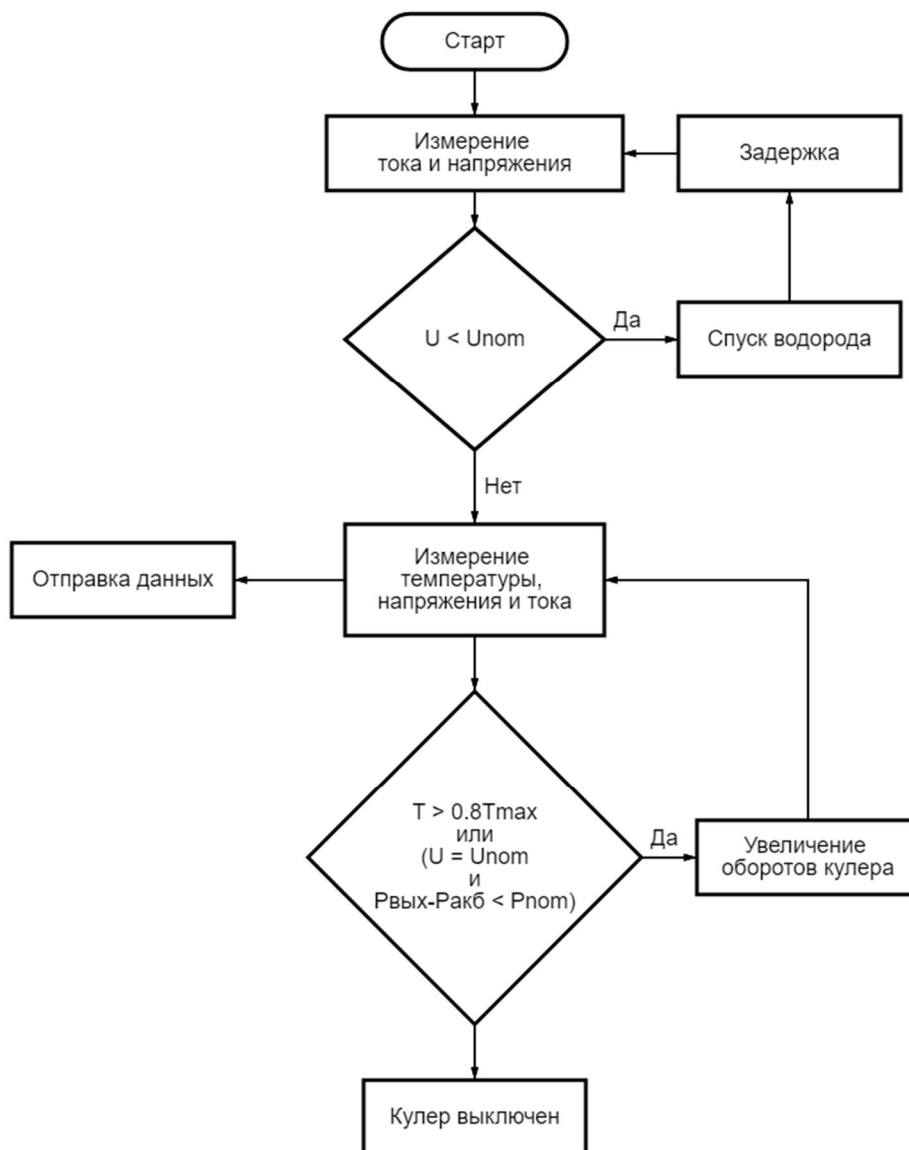


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма работы ВТЭ

Данный алгоритм рассчитан на гибридные системы с ВТЭ с протонообменной мембраной. В том числе на беспилотные радиоуправляемые системы, для которых важна длительность работы. С помощью оптимальной подачи водорода и экономии энергии на системе обдува данный алгоритм даст максимальный эффект для беспилотных радиоуправляемых устройств.

Список литературы:

1. Прохоренко Н.Я. Взаимодействие водородного топливного элемента малой мощности с Ni-Mh аккумулятором // Актуальные вопросы энергетики. – 2021. – № 1. – С. 5–8.

УДК 62-622

СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА И АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ РАДИОУПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

**Сыпало
Евгений Борисович**

Кубанский государственный технологический университет
студент

**Прохоренко
Никита Ярославович**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
classyadvets@gmail.com

Аннотация. В статье предложена схема взаимодействия водородного топливного элемента малой мощности и аккумулятора. Выбраны компоненты для силовой цепи и цепи управления.

Ключевые слова: топливный элемент, водород, гибридная система, альтернативная энергетика.

В данной работе предлагается модифицированная принципиальная схема [1] гибридной работы двух источников энергии: водородного топливного элемента малой мощности и аккумулятора.

Принципиальная схема гибридной системы состоит из силовой цепи и цепи управления. В силовой цепи рассматривается соединение источников энергии водородного топливного элемента и LiPo аккумуляторной батареи. Цепь управления контролирует водородный топливный элемент и систему телеметрии.

Топливный элемент используется в качестве основного источника питания, а аккумуляторная батарея в качестве вспомогательного источника питания. Топливный элемент должен удовлетворять спрос на нагрузку и при этом быть защищенным от обратных токов. Авторы предлагают схему *идеального диода* (рис. 1) на базе N-канального МОП транзистора NCEP045N10G, что позволит уменьшить потери в сравнении с схемой [1]. К силовой цепи также можно отнести питание цепи управления, которое имеет напряжение двух уровней 5 и 3,3 Вольт. Для этого используется два линейных регулятора LM1117IMPX-3.3 и LM1117IMPX-5 с керамическим конденсатором на выходе.

Цепь управления состоит из:

- Датчика тока и напряжения на базе трехканального 13 битного монитора INA3221AIRGVR.

- Приёмопередатчика LoRa Ra-02 SX1278.

- Датчиков температуры DS18B20.

- Транзисторов FDN302P.

- Микроконтроллер ATMEGA328P с возможностью перепрограммирования через коннектор ICSP.

Подача водорода осуществляется через соленоид, подача воздуха через кулер. Соленоид и кулер управляются через полевые транзисторы. Датчики тока, напряжения и температуры позволят управлять подачей водорода и воздуха на водородный топливный элемент через обратные связи. Для поддержания рабочего режима топливного элемента встроен транзистор для создания кратковременных коротких замыканий. Приёмопередатчик позволяет дистанционно следить за состоянием системы и оставшимся временем работы системы. Все элементы управляются микроконтроллером и могут быть перенастроены для различных режимов работы. На рисунке 2 показаны схемы всех перечисленных компонентов.

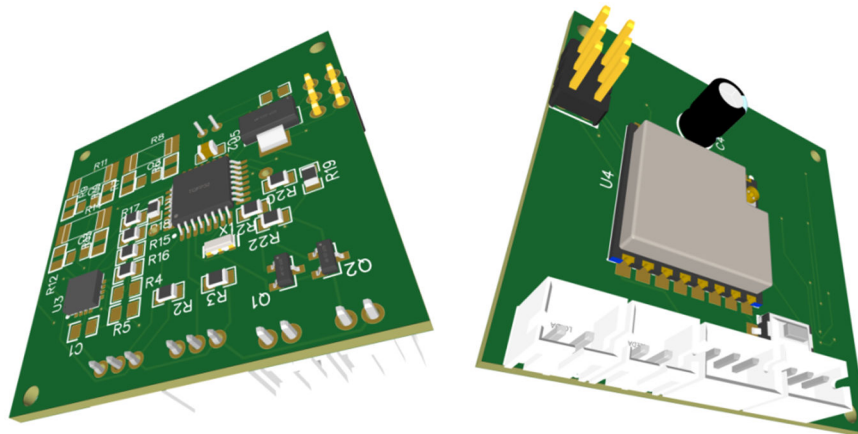


Рисунок 4 – Компоненты печатной платы

Предложенная схема лишена большинства недостатков в сравнении со схемой на диоде Шоттки в [1]. Идеальный диод позволяет свести потери в силовой части, что увеличит срок работы радиоуправляемых беспилотных систем. Обратные связи по датчикам напряжения, тока и температуры позволят не только оптимизировать систему, но и следить за показателями через приёмопередатчик, который способен работать на различных высоких частотах с дальностью передачи сигнала до 5 километров.

Список литературы:

1. Прохоренко Н.Я. Взаимодействие водородного топливного элемента малой мощности с Ni-Mh аккумулятором // Актуальные вопросы энергетики. – 2021. – № 1. – С. 5–8.

УДК 621.314.58

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ
ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ****Шкода
Валентин Васильевич****Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени А.К. Серова**
кандидат педагогических наук, доцент, профессор кафедры
физики и электротехники
vshkoda@mail.ru**Алёнкин
Максим Васильевич****Кубанский государственный технологический университет**
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
alenkin_96@inbox.ru**Кашин
Александр Яковлевич****Войсковая часть**
kashin89@mail.ru

Аннотация. В статье дан аналитический обзор технических перспектив применения ветрогенераторов в промышленности.

Ключевые слова: ветрогенераторы, альтернативная энергетика, ветроэнергетика, оптимизация, электротехнический комплекс.

Главным преимуществом в применении ветрогенераторных [1, 2 и др.] и ветро-солнечных [3–6 и др.] станций является неисчерпаемая возможность использования энергии ветра.

Экономическая выгода при использовании ветрогенераторов для производственных нужд и обеспечения малых и средних производственных мощностей обусловлена невысокими затратами на обеспечение и небольшим сроком окупаемости. При создании данных генераторов применяются готовые узлы и блоки, что связно обеспечивает конструктивную простоту, надежность и дешевизну составляющих компонентов [7–8].

Необходимым условием применения ветрогенераторного комплекса является высокий уровень силы ветра. Для снижения зависимости от изменения сил потока ветра могут применяться маховики, которые могут оказывать «сглаживающий» эффект при работе. Так же применяются воздушные и гидравлические аккумуляторы. По способу действия – воздушные (установка в процессе нормального режима работы нагнетает в специализированный резервуар воздух, который при выходе из него будет вращать турбину). Гидравлический ветродвигатель производит забор воды на определенный уровень высоты, падая вниз вода осуществляет вращение турбины [9].

В качестве организационно-технических вариантов для оптимизации, предлагается для рассмотрения возможность интеграции ВИЭ имеющих невысокую мощность для автономного обеспечения энергией линейных объектов нагрузкой 1–10 кВт. Суть состоит в непосредственной установке источника ВИЭ к электроприемникам, что позволит избежать строительство протяженных ЛЭП.

Возможность применения обеспечит высокий уровень автономности по эксплуатационной части, необходимый для географически отдаленных объектов производства, и наряду с этим высокий уровень экологичности.

Процесс внедрения по экономической части осуществим по способу подачи мощностей для обеспечения собственных нужд различных технологических комплексов, с невысокой потребительской способностью, что дает весомую выгоду по факту эксплуатации [10].

Высокую надежность в электрообеспечении имеют гибридные источники [11–12]. Данный вид электрификации предоставляет более дешевый вариант в отличие от обычных, низкие потери при передаче электроэнергии. Основание ВИЭ на гибридной основе

является перспективным, в отношении электроснабжения удаленных объектов, объектов сельского хозяйства, строительства. Данные системы берут лучшие черты от каждого источника энергии, это дает возможность разработки небольших систем распределения электроэнергии, с подпиткой от аккумуляторов, заряжаемых от дизель-генераторов или солнечного фотоэлектрического модуля [13].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № р_а.

Список литературы:

1. Пат. 2688925 RU. 22.03.2018. Стабилизированный вентильный аксиально-радиальный ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // Оpubл. 23.05.2019. Бюл № 15.
2. Пат. 2658316 RU. 07.07.2017. Многофазный ветрогенератор переменного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 20.06.2018. Бюл № 17.
3. Кашин, Я.М. Ветросолнечная двухходовая генераторная установка / Я.М. Кашин [и др.] // Сельский механизатор – М. : ООО «Нива», 2019. – № 7. – С. 32–34.
4. Ветро-солнечный генератор и его характеристики / Я.М. Кашин [и др.] // Электронный сетевой политематический научный журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 6. – С. 201–214. – URL : <https://elibrary.ru/contents.asp?id=40537087>
5. Трехходовая ветро-солнечная генераторная установка / А.Я. Кашин [и др.] // Матер. X Межд. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-19. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019 – С. 200–205.
6. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учеб. пособие. – Томск : изд-во Томского политех. университета, 2015. – 120 с.
7. Возобновляемые источники энергии / С.П. Кундас, С.С. Позняк, Л.В. Шенец. – Мн. : МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. – 390 с.
8. Туровин О.А., Огнев Е.Н., Кочнев А.Е. Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве альтернативного источника электроснабжения нефтяных объектов компании // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2017. – № 2(4). – С. 69–74.
9. Конесев С.Г., Хабибуллин Т.Р. Методы аккумулирования электроэнергии // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов : межвуз. сб. науч. тр. (с междунар. участием) / отв. ред. В.А. Шабанов. – Уфа : Энергодиагностика, 2018. – С. 231–235.
10. Арифупова Д.Н., Линник Ю.Н., Стороженко А.П. Экономическое обоснование развития солнечной генерации с использованием автономных гибридных энергоустановок в изолированных энергосистемах // Экономика: проблемы, решения и перспективы. Вестник университета. – 2018. – № 11. – С. 97–102.
11. Пат. 2759192 RU, 16.03.2021. Гибридный энергетический комплекс // Я.М. Кашин // Оpubл. 10.11.2021. Бюл. № 31.
12. Системные свойства гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии / В.С. Афонин [и др.] // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2012. – № 2. – С. 20–27.
13. Бобров А.В., Тремясов В.А. Ветро-дизельные комплексы в децентрализованном электроснабжении. – Красноярск : Сиб. фед. ун-т, 2012. – 216 с.

Секция 6.

**ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОВОЙ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВКАХ**

УДК 621.182.2

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В КОТЕЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ****Долгова
Анастасия Николаевна****Казанский государственный энергетический университет**
кандидат технических наук, доцент
dolgova.an@list.ru**Чурилов
Константин Евгеньевич****Казанский государственный энергетический университет**
магистрант направления «Теплоэнергетика и теплотехника»
mmmwww6996@mail.ru

Аннотация. В статье приведены способы повышения эффективности при производстве тепловой энергии в котельном оборудовании за счет внедрения автоматизированных систем управления. Рассматриваются внедрение моделированных горелок в водогрейные котлы, установка датчика для измерения расхода воды в системе, а также способ подключения сетевых насосов через устройства плавного пуска. Дана характеристика понятия «автоматизированная котельная». Приведена оценка повышения эффективности котельного оборудования для каждого способа.

Ключевые слова: повышение эффективности, котельное оборудование, автоматизированная система управления, программно-логический контролер.

Иntenсивное развитие человечества в области автоматизации технологических процессов и IT – технологий направлено на минимизацию участия человека в управлении технологических процессов, и внедрения автоматизации в различные объекты, в том числе и в объект по выработке тепловой энергии.

Автоматизированная котельная – это котельная, предназначенная для выработки тепловой энергии, работа которой в основном осуществляется за счет программно-логического контролера (ПЛК) и подключенными к нему всех измерительных и исполнительных устройств. Причем участие человека в работе котельной становится минимальной, и в большей степени его работа направлена на мониторинг за правильностью работы автоматизированной системы управления (АСУ) [1].

Любой объект, в том числе и котельная, нуждается в модернизации, с целью повышения эффективности по экономическим и техническим показателям, а также надежности и безопасности работы.

Повышение эффективности при производстве тепловой энергии в котельном оборудовании может осуществляться двумя видами работ:

1. За счет изменения конструкции основного оборудования (водогрейного котла), а также использования теплоизоляции для трубопроводов.
2. За счет внедрения автоматизированных систем управления.

Первый вид работ характеризуется большими капитальными вложениями и требует модернизации самого оборудования. Второй же возможно реализовать в период планового останова оборудования, например, в период текущего ремонта. При рассмотрении последнего вида работ можно выделить следующие способы по повышению эффективности котельного оборудования:

1. Внедрение моделированных горелок в водогрейные котлы.

Моделированные горелки – это горелки, мощность которых плавно изменяется в автоматическом режиме [2]. Изменение мощности горелки осуществляется за счет ПЛК, к которому помимо данной горелки подключен датчик температуры наружного воздуха. Изменение температуры наружного воздуха подает сигнал на ПЛК, который меняет мощность согласно графику зависимости для температурного режима «95–70 (°C)» (рис. 1).

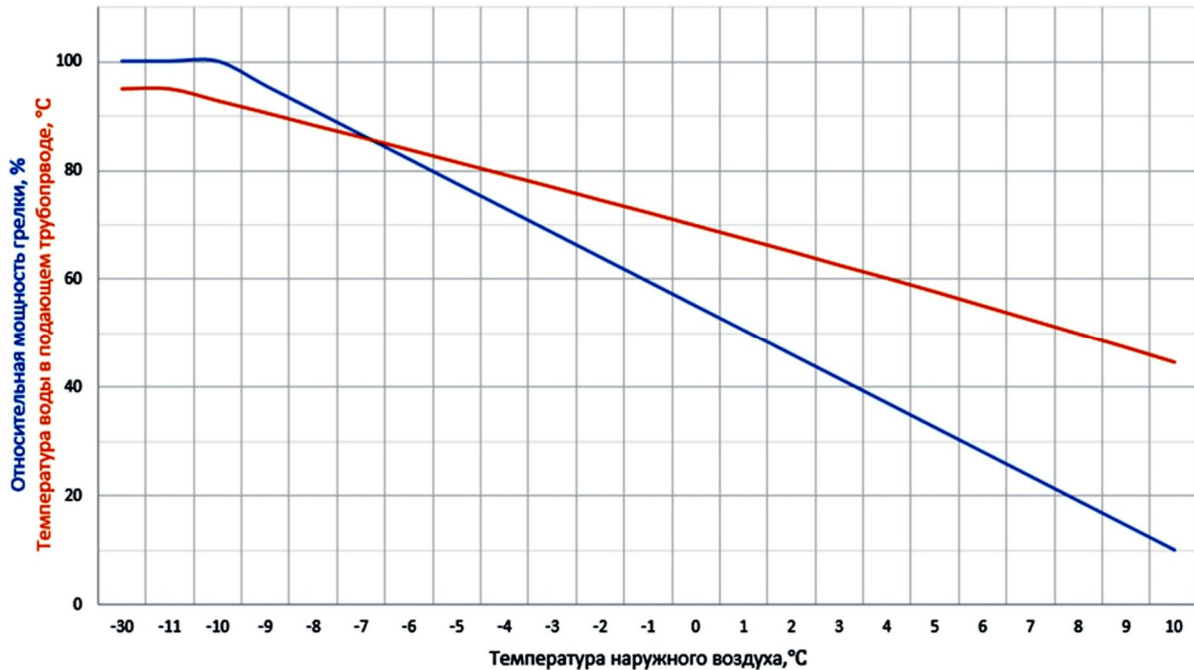


Рисунок 1 – График зависимости относительной мощности горелки (P) и температуры в подающем трубопроводе (t_n) от температуры наружного воздуха (t_n)

Повышение эффективности при производстве тепловой энергии в котельном оборудовании при применении данного способа заключается в следующем:

- механизм плавного регулирования мощности позволяет свести цикличность включения-выключения котлов к минимуму, что значительно снижает механические напряжения на стенках и в узлах котла, а значит, продлевает его срок службы;
- экономия топлива при этом составляет не менее 5 %, а при грамотной настройке можно добиться 15 % и выше;
- установка модулируемых горелок не требует замены дорогостоящих котлов, если они исправно функционируют, при этом повышая КПД котла.

2. Установка датчика для измерения расхода воды в системе.

Для достижения необходимой температуры в подающем трубопроводе необходимо поддерживать требуемый уровень воды в системе. Для этого на обратном трубопроводе устанавливается датчик расхода (расходомер) воды. Сигнал расходомера подается на ПЛК, который в свою очередь сравнивает показания с датчика с требуемым расходом воды (уставкой) [3]. Уставка расхода воды вносится при программировании контролера. В случае, если показания датчика меньше, чем требуемый расход воды, то ПЛК подает команду на включение подпиточного насоса и система заполняется водой. В момент, когда показание датчика равняется уставке, ПЛК подает команду на выключение подпиточного насоса.

Результатом осуществления данного способа повышения эффективности котельного оборудования является правильное радиационное и конвективное теплопередачи в водогрейном котле, что позволяет поддерживать требуемую температуру в подающем трубопроводе, а также отсутствие накапливания накипи внутри труб.

3. Подключения сетевых насосов через устройства плавного пуска.

При прямом пуске в момент подключения двигателя к сети в цепи статора возникает большой пусковой ток, в 5–7 раз превышающий номинальный ток двигателя. Негативными последствиями такого пуска являются:

- значительные просадки напряжения на питающих шинах, что нарушает работу, как других потребителей, так и самого двигателя (затягивание пуска);
- значительные термические перегрузки обмотки, следствием чего может быть ускоренное старение изоляции, ее повреждение и, как результат, межвитковое короткое замыкание [4].

Полностью устранить вышеперечисленные проблемы можно, если осуществлять плавный пуск асинхронного двигателя. Это осуществляется путем подключения насоса к сети через устройство плавного пуска.

Принцип «плавного» пуска основан на полупроводниках. Через энергетическую цепь и цепь управления, данные полупроводники понижают начальное напряжение электродвигателя. Это приводит к уменьшению вращающего момента электродвигателя. В процессе пуска мягкий пускатель постепенно повышает напряжение электродвигателя, что позволяет электродвигателю разогнаться до номинальной скорости вращения, не образуя большого вращающего момента или пиков тока. Плавные пускатели могут использоваться также для управления торможением электродвигателя.

При подключении сетевых насосов через устройство плавного пуска повышение эффективности котельного оборудования в этом случае дает следующие результаты:

- снижаются гидравлические удары в трубах во время пусков и остановок;
- минимизируется механическое напряжение на валу двигателя;
- снижается пусковой ток;
- защита от низкого тока предотвращает повреждение из-за заблокированной трубы или низкого уровня воды;
- функция автоматического перезапуска обеспечивает непрерывную работу автономной насосной станции;
- защита от опрокидывания фазы предотвращает повреждение из-за обратного вращения насоса;
- защита от мгновенной перегрузки предотвращает повреждение из-за мусора, попадающего в насос.

Таким образом, внедрение автоматизированных систем управления при производстве тепловой энергии в котельное оборудование позволяет повысить эффективность на 5–15 %, стабилизировать расход воды в системе и повысить срок службы сетевых насосов.

Список литературы:

1. Близников П.В. Системы управления автоматизированными котельными [Электронный ресурс]. – URL : https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id = 3578
2. Одноступенчатые, двухступенчатые и модулируемые горелки для отопительных котлов [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.altermo.ru/stati/kakuju-gorelku-vybrat/>
3. Приборы и автоматика котельных [Электронный ресурс]. – URL : <https://kipia-portal.ru/2016/02/21/pribory-i-avtomatika-kotelnyx/>
4. Способы пуска электродвигателей насосов [Электронный ресурс]. – URL : https://e-centreplant.ru/info/articles/start_pump/

УДК 665.6/.7

КАВИТАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА НЕФТИ

**Николаев
Александр Игоревич****МИРЭА – Российский технологический университет,
Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова**
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологи-
гии нефтехимического синтеза и искусственного жидкого топ-
лива им. Башкирова А.Н.
nikolaev_a@mirea.ru**Пешнев
Борис Владимирович****МИРЭА – Российский технологический университет,
Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
технологии нефтехимического синтеза и искусственного жидко-
го топлива им. Башкирова А.Н.
reshnev@mirea.ru**Алхамеди
Муатаз Хади Исмаил****МИРЭА – Российский технологический университет,
Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова**
аспирант кафедры технологии нефтехимического синтеза
и искусственного жидкого топлива им. Башкирова А.Н.**Никишин
Денис Васильевич****МИРЭА – Российский технологический университет,
Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова**
аспирант, заведующий лабораторией кафедры технологии
нефтехимического синтеза и искусственного жидкого топлива
им. Башкирова А.Н.
nikishin@mirea.ru

Аннотация. В последние годы в структуре добываемых углеводородов возрастает доля высоковязких нефтей. Их переработка характеризуется трудоемкостью и большими энергозатратами. Одним из способов снижения затрат на переработку высоковязких нефтей связан с изменением их реологических свойств. Для этого на ряду с традиционными способами, в качестве которых рассматривают гидрогенизацию, коксование или частичное окисление, предлагаются альтернативные методы такие, как радиационно-волновое излучение, воздействие магнитных полей и кавитационное воздействие. Последний метод считается наиболее перспективным, но при его применении изменение реологических свойств нефти обусловлено влиянием воздействия на углеводородный состав нефти. Происходящие изменения углеводородного состава будут затрагивать не только свойства самой нефти, но и нефтяных фракций, получаемых при ее переработке.

В качестве объектов исследования использовались образцы тяжелой и легкой нефти Ильского месторождения.

Кавитационная обработка нефти проводилась в аппарате высокого давления «Донор-2», состоящего из кавитационного узла, редуктора и электродвигателя. Принцип действия аппарата заключался в создании гидродинамической кавитации в объеме нефти при ее прохождении через диффузор аппарата из зоны высокого давления в зону низкого давления.

Определение характеристик (плотность, температура начала кипения, фракционный состав) нефтей и их фракций, выделяемых при их дистилляции, проводилось по методикам, приведенным в соответствующих нормативно-технических документах.

В результате проведенных исследований установлено, что при кавитационной обработке нефтей значения их характеристик, а именно плотности, температуры начала кипения и фракционного состава меняются. Так, например, плотность образца вязкой нефти уменьшилась на $0,0346 \text{ г/см}^3$, а легкой на $0,0091 \text{ г/см}^3$. Температура начала кипения вязкой нефти снизилась со $160 \text{ }^\circ\text{C}$ до $106 \text{ }^\circ\text{C}$, а для легкой с $56 \text{ }^\circ\text{C}$ до $39 \text{ }^\circ\text{C}$. Полученные результаты свидетельствуют

о том, что в результате кавитационной обработки нефти значения ее характеристик меняются и наибольший эффект от воздействия наблюдается у нефти характеризующейся большей плотностью. При этом у обработанных образцов присутствует последующий эффект от воздействия приводящий к изменению свойств нефти не только в момент обработки, но и после него. Так, например, у обработанного образца вязкой нефти значение кинематической вязкости составляло 377,7 сСт, а через 20 суток вязкость образца возросла до 384,5 сСт с последующей стабилизацией на величине 385,0 сСт.

Кавитационное воздействие на нефть оказало влияние на изменение характеристик не только самой нефти, но и фракций, получаемых при ее переработке. Так, бензиновая фракция, полученная из обработанной нефти, характеризуется меньшими значениями плотности, температуры начала кипения и температур выкипания соответствующих объемов бензина. Для мазутов в отличие от бензина характерно увеличение значений плотности, а также в образцах мазутов, полученных из обработанных нефтей, выход фракций выкипающих до 400 °С и выше 500 °С больше по сравнению с образцами, полученными из исходной нефти.

Ключевые слова: кавитация, кавитационная обработка нефти, характеристика нефти, характеристики фракций нефти.

Развитие энергетического комплекса России напрямую связана с обеспеченностью сырьем. Одним из источников сырья является нефть. Следует отметить, что в структуре добываемого в мире углеводородного сырья все большую роль занимают высоковязкие нефти. По разным оценкам мировые запасы таких нефтей оцениваются от 790 млрд тон до 1 трлн. тон, что в 5–6 раз превосходит остаточные извлекаемые запасы нефти малой и средней вязкости [1]. Россия считается третьей после Канады и Венесуэлы страной по объемам тяжелых углеводородных ресурсов.

Переработка высоковязких нефтей по классической схеме достаточно трудоемка и высокоэнергозатратна [2]. В ряде случаев практически невозможно получить из таких нефтей фракции пригодные для производства топлив. Для высоковязких нефтей рассматриваются схемы с необходимостью первичной обработки нефти в целях снижения ее вязкости путем гидрогенизации, коксования или частичного окисления [3–5]. Но даже в этих случаях выход фракций для производства топлив незначителен. Вместе с тем изменить реологические свойства высоковязкой нефти возможно, используя альтернативные методы, такие, как радиационно-волновое излучение [6], воздействие магнитных полей [7], кавитационное воздействие [8]. Последний способ воздействия считается наиболее перспективным и энерговыгодным.

Изучение влияния кавитационного воздействия на свойства нефтепродуктов проводится разными исследователями во многих научных центрах [9–12]. Установлено, что при воздействии кавитации на нефть и нефтяные фракции происходит изменение ее реологических свойств, что обусловлено протекающими при кавитации превращениями, приводящими к изменению углеводородного состава нефти [13].

Можно предположить, что в случае кавитационного воздействия на нефть происходящие изменения углеводородного состава будут затрагивать не только свойства самой нефти, но и отразятся на увеличении выхода фракций пригодных для производства топлив, что обеспечит потребности энергетического комплекса. Также изменения могут повлиять и на характеристиках нефтяных фракций, получаемых при ее переработке. Последнее может минимизировать дальнейшие затраты на производстве топлив, соответствующих требованиям нормативно-технической документации.

В настоящей работе приводятся результаты исследований влияния гидродинамической кавитации на свойства нефти и получаемых на ее основе нефтяных фракций.

В качестве объектов исследования была выбрана тяжелая (Н1) и легкая (Н2) нефти Ильского месторождения. В таблице 1 приведены их характеристики. Кавитационная обработка нефти проводилась с помощью аппарата Донор-2 [14]. Аппарат состоит из кавитационного узла, редуктора и электродвигателя. Электродвигатель аппарата приводит в действие червячный механизм редуктора, который, в свою очередь, придает поступательное движение плунжеру, расположенному в кавитационном узле. Сырье, за счет движения плунжера поступало в камеру высокого дав-

ления, а при обратном ходе плунжера нефть продавливалась через щель-зазор. На этом этапе газ, присутствующий в жидкой фазе, формирует пузырьки с образованием каверн (сферические пузырьки сверхкритического радиуса). Далее нефть попадает в камеру низкого давления. При этом происходит увеличение размеров каверн. Давление внутри каверн меняется и, когда статическое давление жидкой фазы превышает давление насыщенных паров в каверне, происходит ее схлопывание. Следует отметить, что схлопывание каверн протекает с выделением тепла. Локально (в точке схлопывания) температура может достигать 1100–10000 К [11, 12]. Вывод обработанной нефти из узла осуществляли через выпускной патрубок. Обработку нефтей проводили при давлении в 50 МПа и 5 циклах воздействия.

Таблица 1 – Характеристики исходных нефтей

Характеристика	Образец нефти	
	Н1	Н2
Плотность, г/см ³	0,9693	0,8810
Температура начала кипения, °С	160	56
Выход фракций, % об.:		
до 160 °С	0,0	11,9
160–230 °С	0,5	19,2
230–350 °С	5,2	19,5
350 °С и выше	94,3	49,4

Определение плотности нефти и нефтепродуктов проводили пикнометрическим методом по методике, описанной в ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности».

Определение фракционного состава нефтепродуктов осуществляли с помощью аппарата марки АРНП-1 в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава».

Определение выхода фракций нефти и нефтепродуктов при перегонке под вакуумом осуществляли на лабораторной установке, включающей в себя колбу Кляйзена, холодильник, аллонж и приемные колбы. Для создания вакуума и определения остаточного давления установка комплектовалась капилляром, вакуумным насосом и U-образным манометром. Определение выхода фракций проводили при остаточном давлении на уровне ~ 2 мм рт. ст. Более подробно об определении выхода фракций при перегонке под вакуумом представлено в работе [15].

Влияние кавитационного воздействия на образцы нефти представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики обработанных нефтей

Характеристика	Образец нефти	
	Н1к	Н2к
Температура начала кипения, °С	106	39
Выход фракций, % об.:		
до 160 °С	5,0	12,5
160–230 °С	9,0	21,3
230–350 °С	14,0	20,0
350 °С и выше	72,0	46,2

Видно, что значения температур начала кипения обработанных нефтей по сравнению с исходными изменились, а именно – снизились. Так, для образца нефти Н1к температура начала кипения была зафиксирована в 106 °С, а для нефти Н2к в 39 °С. Различия между значениями для нефтей Н1 и Н1к приблизительно 1,5 раза, а для нефтей Н2 и Н2к в 1,4 раза.

Изменению подверглись и значения выхода фракций. Так, у обработанных нефтей выход фракций выкипающих до 350 °С увеличился, а выход фракции выкипающей от 350 °С и выше снизился. Различия между выходами фракций, выкипающих до 350 °С, для нефтей Н1 и Н1к составили приблизительно 4,9 раза, а для нефтей Н2 и Н2к – 0,1 раза.

Исследование плотности обработанных нефтей показало, что значения данного показателя для нефти Н1 уменьшились с $0,9693 \text{ г/см}^3$ до $0,9347 \text{ г/см}^3$, т.е. на $0,0346 \text{ г/см}^3$, а для нефти Н2 с $0,8810 \text{ г/см}^3$ до $0,8719 \text{ г/см}^3$, т.е. на $0,0091 \text{ г/см}^3$.

Представленные данные свидетельствуют о том, что в результате кавитационной обработки нефти значения ее характеристик, а именно фракционного состава и плотности меняются. Наибольший эффект от воздействия наблюдается у нефти характеризующейся большей плотностью. Полученный результат не противоречит имеющимся в литературе данным [16].

Однако, сохраняются ли значения характеристик у обработанных нефтей во времени? Проведенные исследования показали, что значения меняются. Так, например, для исходного образца Н1 значение вязкости составляло 417,4 сСт, после кавитационного воздействия оно снизилось до 377,7 сСт. Последующие определение вязкости образца показало, что через 5 суток значение данного показателя возросло до 382,9 сСт, а через 20 суток до 384,5 сСт. Далее значение вязкости стабилизировалось на величине 385,0 сСт (30 суток). Таким образом, можно говорить о том, что кавитация оказывает влияние на изменение свойств нефти не только в момент воздействия, но и после него.

Далее были проведены исследования характеристик фракций, полученных из нефтей. В таблице 3 представлены характеристики бензиновых фракций (образцы Б2 и Б2к), полученных из исходной Н2 и обработанной Н2к нефтей. Следует отметить, что изучение бензиновых фракции нефтей Н1 и Н1к не проводилось, т.к. в нефти Н1 эта фракция отсутствует.

Таблица 3 – Характеристики бензиновых фракций

Характеристика	Бензин 2	Бензин 2к
Плотность, г/см^3	0,7305	0,7289
Фракционный состав:		
Температура начала кипения, °С	56	39
10 %об. перегоняется при температуре, °С	70	52
20 %об. перегоняется при температуре, °С	77	65
30 %об. перегоняется при температуре, °С	86	75
40 %об. перегоняется при температуре, °С	93	87
50 %об. перегоняется при температуре, °С	103	100
60 %об. перегоняется при температуре, °С	110	110
70 %об. перегоняется при температуре, °С	120	125
80 %об. перегоняется при температуре, °С	130	135
90 %об. перегоняется при температуре, °С	140	150
Температура конца кипения	160	160

Видно, что бензиновая фракция, полученная из обработанной нефти, характеризуется меньшими значениями плотности, температурами начала кипения и температурами выкипания соответствующих объемов бензина.

В таблице 4 представлены характеристики мазутов (образцы М1, М2 и М1к, М2к), полученных из исходных Н1, Н2 и обработанных Р2к, Н2к нефтей.

Таблица 4 – Характеристики мазутов

Характеристика	М1	М1к	М2	М2к
Плотность, г/см^3	0,9736	0,9806	0,9402	0,9499
Выход фракций, % масс.:				
350–400 °С	25,1	27,1	30,1	32,5
400–500 °С	30,9	26,7	27,0	22,6
500 °С и выше	44,0	46,2	42,9	44,9

Видно, что для мазутов, как и для бензиновой фракции, отмечено различие в характеристиках образцов, полученных из исходной и обработанной нефтей. Однако, в отличие от бензиновой фракций, для получаемых после обработки нефти мазутов характерно увеличение значений плотности. Так, например, образец М1к характеризуется плотностью $0,9806 \text{ г/см}^3$, что на $0,0070 \text{ г/см}^3$ больше плотности образца М1. Так же в образцах мазутов, полученных из обработанных нефтей, выход фракций выкипающих

до 400 °С и выше 500 °С больше по сравнению с образцами, полученными из исходной нефти.

На основании данных, представленных в таблицах 3 и 4, следует, что предположение о влиянии кавитационной обработки нефти на изменение характеристик фракций, входящих в ее состав, обоснованно.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в результате кавитационной обработки нефти изменяются ее характеристики. Наибольший эффект от воздействия наблюдается у нефти, характеризующейся наибольшей плотностью. Изменение характеристик нефти происходит не только в момент воздействия на нее, но и после него. Отмечено, что характеристики фракций, получаемых из исходной и обработанной нефтей различаются.

Список литературы:

1. William B. Heavy hydrocarbons playing key role in peak-oil debate, future energy supply // *Oil&Gas Journal*. – 2003. – V. 101. – № 29. – P. 20–27.
2. Халикова Д.А., Петров С.М., Башкирцева Н.Ю. Обзор перспективных технологий переработки тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013. – Т. 16. – № 3. – С. 217–221.
3. Терентьева В.Б., Пешнев Б.В., Николаев А.И. Гидродинамическая активация тяжелых нефтяных остатков // *Тонкие химические технологии*. – 2021. – № 5. – С. 390–398.
4. Замедленное коксование как эффективная технология углубления переработки нефти / Г.И. Шакирзянова [и др.] // *Вестник технологического университета*. – 2017. – Т. 20. – № 14. – С. 75–78.
5. Галиуллин Э.А., Фахрутдинов Р.З. Новые технологии переработки тяжелых нефтей и природных битумов // *Вестник технологического университета*. – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 47–51.
6. Al-Majed A.A., Adebayo A.R., Hossain M.E. A sustainable approach to controlling oil spills // *Journal of Environmental Management*. – 2012. – № 113. – P. 213–227.
7. Дифференциация нефти в магнитном поле / Р.А. Галимов [и др.] // *Вестник технологического университета*. – 2010. – № 3. – С. 467–471.
8. Использование многоциклового кавитации для интенсификации переработки нефтяного сырья / В.Н. Торховский [и др.] // *Технологии нефти и газа*. – 2015. – № 2. – С. 10–17.
9. Механодеструкция углеводородов нефти с помощью дезинтегратора высокого давления / С.И. Воробьев [и др.] // *Вестник МИТХТ*. – 2008. – Т. 3. – № 3. – С. 77–84.
10. Промтов М.А. Гидроимпульсная кавитационная обработка нефти в роторном импульсном аппарате // *Вестник ТГТУ*. – 2018. – Т. 24. – № 3. – С. 455–460.
11. Режимы работы технологического оборудования с возбуждением кавитации / В.М. Червяков [и др.] // *Вестник ТГТУ*. – 2005. – Т. 11. – № 2а. – С. 399–403.
12. Федоткин И.М., Немчин А.Ф. Использование кавитации в технологических процессах. – К. : Вища шк, 1984. – 68 с.
13. Николаев А.И., Пешнев Б.В., Алхамеди М.Х.И. Кавитационная обработка обводненных нефтепродуктов // *Известия вузов. Химия и хим. технология*. – 2022. – Т. 65. – № 7. – С. 94–99.
14. Терентьева В.Б. Применение механохимической активации тяжёлых нефтяных остатков для повышения глубины переработки нефти : дисс. ... канд. техн. наук: 02.00.13: защищена 22.09.2020: утв. 21.01.2020 / Терентьева Вера Борисовна. М., 2020. – 111 с.
15. Рыбак Б.М. Анализ нефти и нефтепродуктов. – Баку : Азнефтеиздат, 1948. – 608 с.
16. Николаев А.И., Пешнев Б.В., Терентьева В.Б. Гидродинамическая активация тяжелых нефтяных остатков // *Тонкие химические технологии*. – 2021. – Т. 16. – № 5. – С. 390–398.

Секция 7.
НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 622.276

**РАЗВИТИЕ И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ****Акопян
Давид Суренович****Кубанский государственный технологический университет**
студент
david-akopyan00@yandex.ru**Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Хафизов
Вадим Мирхатимович****АО «Самаранефтегаз», Управление добычи нефти и газа**

Аннотация. В статье рассматривается применение новых технологий и оборудования в нефтегазовой промышленности. Приводятся преимущества и недостатки, а также целесообразность внедрения новых технологий.

Ключевые слова: гидравлический разрыв, геонавигация, скважина, горная порода.

1 Введение. Исследование и разработка нефтяных и газовых месторождений требует использования большого количества различных технологий, распространенных во многих областях техники и большого объема ресурсов. Попадание нефти и нефтепродуктов в окружающую среду чрезвычайно опасно. Это связано как с пожаро- и взрывоопасностью углеводородов, так и с токсичностью компонентов нефти и продуктов их превращений. Загрязнение нефтью может достигать очень больших масштабов. По этим причинам следует уделять особое внимание развитию новых, более совершенных технологий в нефтегазовой отрасли.

2. Внедрение инноваций и их применение. Инновации в нефтегазовом промысле, в частности при добыче полезных ископаемых, предоставляют множество возможностей для повышения энергоэффективности и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

2.1. Электромагнитный метод с контролируемым источником. Межскважинная сейсморазведка использует потенциал электромагнитных полей для изучения фазы насыщающей коллектор и состава горных пород. Этот метод называется электромагнитным методом с контролируемым источником и был впервые использован в 1995 году. Эта технология имеет перспективы при распознавании расположения пропластков насыщенных водой, но ее применение по-прежнему требует высоких затрат на оборудование, поэтому на данный момент ее применение нецелесообразно.

2.2. Геонавигационные технологии. Геонавигация является одним из примеров программных технологий «умного бурения», целью которых является сопряжение современных вычислительных методов для нефтегазовых операций; результатом является увеличение производительности нефтяной скважины и сокращение времени строительства в несколько раз.

Важным примером применения технологии геонавигации является программный комплекс Geonapt, который способен определять стратиграфическое положение скважины и рассчитывать изменения в формировании структуры в процессе эксплуатации. Это программное обеспечение в основном используется при наклонно-направленном и горизонтальном бурении, помогая найти оптимальное положение ствола скважины в пределах целевого горизонта.

Программный комплекс Geonapt работает следующим образом:

– сначала программное обеспечение строит 2-мерную плоскостно-поперечную модель пласта;

- затем оно анализирует данные каротажей вдоль ствола пробуренной скважины;
- далее данные каротажей сопоставляются (во время буровых работ) и, наконец, модель адаптируется к фактическим данным путем обновления внутренних параметров.

Это программное обеспечение уже внесло свой вклад примерно в 4000 случаев бурения.

2.3. Технология тонких стволов (slim-hole). Сверление тонких стволов – это метод бурения, который заключается в установке скважинной трубы диаметром менее 6 дюймов. Бурение в узких скважинах направлено на снижение стоимости бурения и уменьшение вредного воздействия на окружающую среду.

Такие технологии могут быть очень полезны в отдаленных зонах для разведки. В таких областях возрастают как риски, так и потенциальные выгоды из-за отсутствия инфраструктуры или присутствия компании, дорожное строительство и логистика могут быть дорогими. Метод является экономически выгодным, т.к. используется буровое оборудование меньших размеров, при этом снижаются затраты на транспортировку. В процессе бурения затрачивается меньше ресурсов, таких как буровой раствор, цемент, вода, обсадные колонны, дизельное топливо.

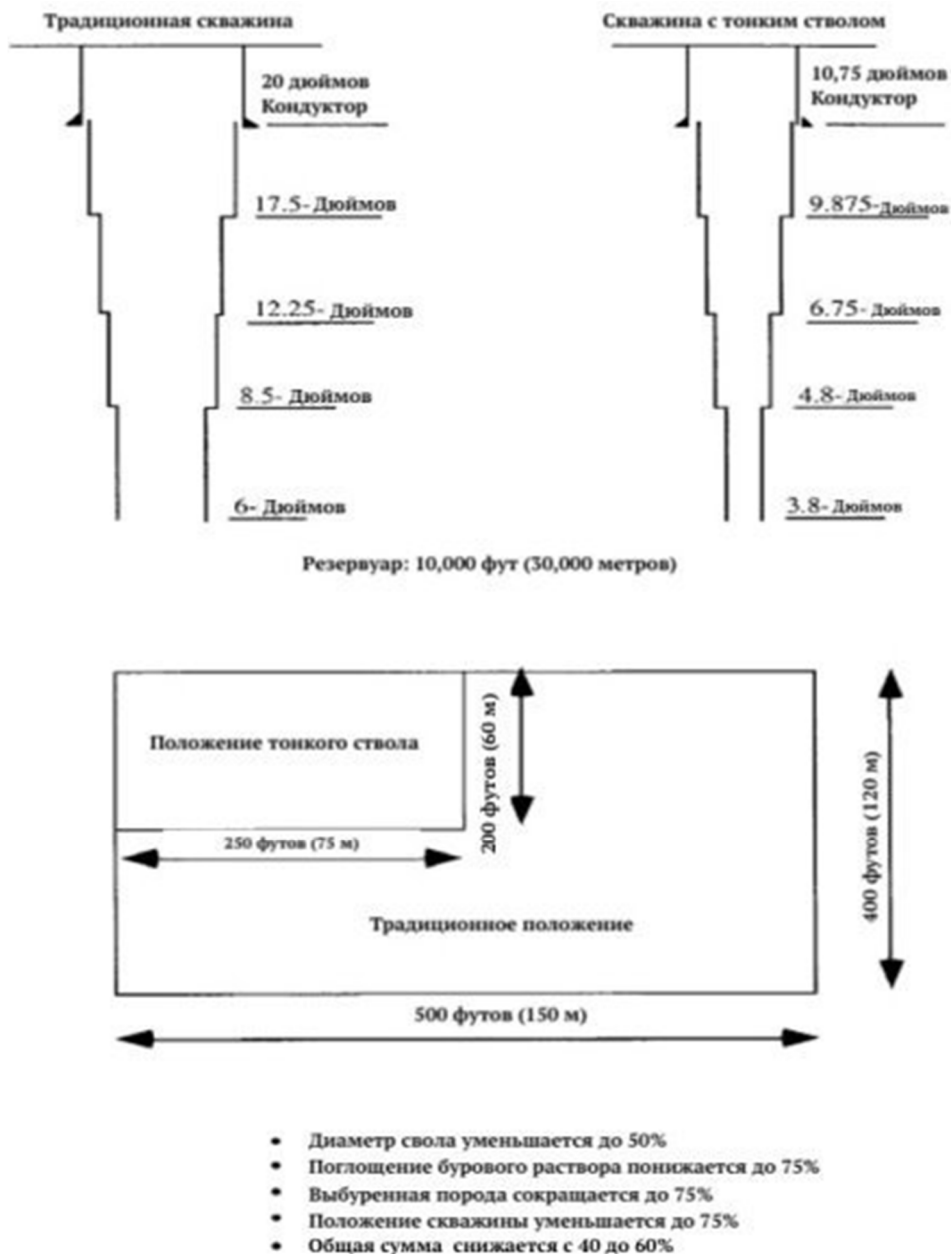


Рисунок 1 – Сравнение положения стволов традиционной скважины и скважины с тонким стволом

Также уменьшается количество выбуренной породы и количество персонала для эксплуатации и обслуживания буровой системы. Как показано на рисунке 1, размер участка скважины уменьшился на 75 %, расход бурового раствора и шлама сократился на 75 %, а диаметр скважины уменьшился на 50 %. Общие затраты уменьшаются на 20 % по сравнению с обычной скважиной.

2.4. Достижения в области технологии гидроразрыва пласта. Гидравлический разрыв пласта (ГРП), представляет собой крайне эффективный метод добычи нефти, при котором вода под высоким давлением вместе с дополнительными химическими веществами используется для разрушения структуры породы и увеличении проницаемости призабойной зоны пласта, что увеличивает приток нефти к забою.

Безводный ГРП – новая технология гидроразрыва пласта, представленная компанией Calgary, улучшила традиционную технологию гидроразрыва пласта, отказавшись от использования пресной воды для проведения процесса разрыва горной породы. Вместо воды жидкость для ГРП состоит из геля на основе пропана, который естественным образом присутствует в почве, и других безвредных химических веществ, таких как оксид магния и сульфат железа.

Использование жидкости для ГРП на основе углеводородов позволяет лучше эксплуатировать образовавшиеся микротрещины в породах, поскольку раствор пропана в отличие от воды способен почти полностью покидать разрушенную породу,

На настоящий момент в качестве альтернативы имеется опыт применения жидкостей на углеводородной основе, и пенно-азотной жидкости, обе эти технологии освоены в Российской нефтегазодобывающей промышленности и успешно применяются на различных месторождениях в случае их целесообразности.

Выводы

Оценивая общие характеристики представленных технологий и их применимость на месторождениях нефти и газа в России, можно предположить, что данные методы разведки месторождений, бурения скважин и добычи углеводородов могут быть актуальными в настоящее время. Для успешного внедрения технологий требуется детальная проработка технической стороны, а также более широкая геолого-технологическая подготовка и анализ результатов.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 C2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близиюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.

10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескоаний горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Гилаев Г.Г. Способы решения проблемы высокого затрубного давления, создаваемого попутным нефтяным газом, в скважинах, эксплуатирующихся УЭЦН // Ашировские чтения. – 2021. – Т. 1. – № 1 (13). – С. 233–236.
18. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
19. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

УДК 553.981

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА**Асташев
Дмитрий Анатольевич****Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова**
магистрант 2 курса Высшей школы энергетики, нефти и газа
astashev.d@edu.narfu.ru**Иконникова
Людмила Никовна****Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова**
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
бурения скважин, разработки нефтяных и газовых месторождений
Высшей школы энергетики, нефти и газа
l.ikonnikova@narfu.ru

Аннотация. Существует несколько возможных способов транспортировки природного газа от месторождения, из них можно выделить трубопроводный транспорт, транспортировка в сжиженном виде, в сжатом виде, в виде газовых гидратов, по технологии перевода газа в жидкое состояние (GTL – Gas to Liquid, технология перевода природного газа в синтетические жидкие продукты). Данные методы будут иметь свои особенности и их выбор должен быть обоснован технико-экономическим расчетом, при этом решающими факторами являются объем транспортируемого газа, дальность транспортировки и затраты на ее осуществление. В работе будет дан краткий обзор условий применимости основных методов транспортировки природного газа, а также проведен сравнительный анализ двух методов транспортировки природного газа морем – в виде сжиженного природного газа (СПГ) и в виде газовых гидратов. Анализ будет произведен исходя из вышеперечисленных факторов, не учитывая геополитическую обстановку, географическое положение, наличие и возможность транспортировки углеводородов.

Ключевые слова: методы транспортировки природного газа, сжиженный природный газ, газовые гидраты.

Критерии применимости различных методов транспортировки природного газа. Рассмотрим эффективность способов транспортировки природного газа, используя зависимость капитальных вложений (CAPEX) от расстояния, на которое требуется осуществить транспортировку по различным способам транспортировки (рис. 1) [3]. Зависимость показывает, что при транспортировке на относительно небольшие расстояния (до 1000 км) наиболее целесообразно применение трубопроводов. Дальнейший рост расстояния транспортировки влечет резкое увеличение затрат. Транспортировка газа в сжатом виде (CNG) экономически целесообразна при расстояниях примерно до 2000 км, от 2000 до 6000 км наиболее экономически оправдана транспортировка в виде газовых гидратов (NGH). На большие расстояния наиболее приемлемым способом транспортировки является перевозка газа в сжиженном виде за счет возможности перевозки больших объемов газа. Перевозка в сжатом виде и в виде газогидратов применима для меньших объемов газа.

Рассмотрим эффективность данных способов транспортировки природного газа на основании анализа объемов подлежащего транспортировке природного газа и расстояния (рис. 2) [3]. Так, при объемах транспортировки до 1 млрд м³/год и дальности до 3000 км целесообразно осуществлять транспортировку в сжатом виде и в виде гидратов, GTW (Gas to Wire, технология использования газа для выработки электроэнергии). При увеличении дальности следует использовать технологию GTL. При объемах свыше 1 млрд м³/год целесообразно использование трубопроводного транспорта при дальности до 1000 км, далее – в виде СПГ.

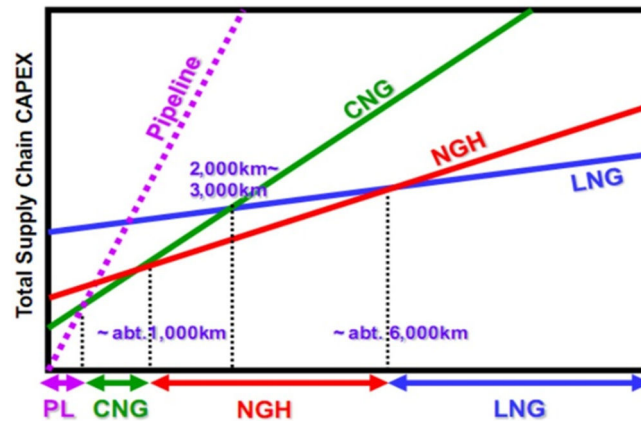


Рисунок 1 – Сравнение экономической эффективности различных способов транспортировки природного газа [3]: *PL* – трубопроводный транспорт; *CNG* – транспортировка в сжатом состоянии; *NGH* – в виде газогидратов; *LNG* – в сжиженном виде

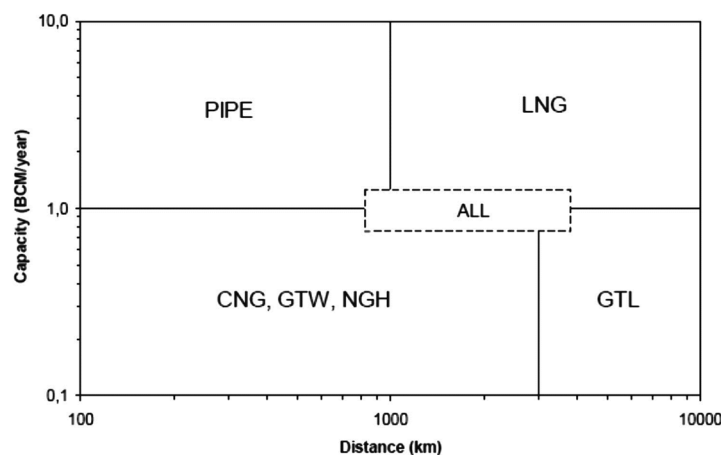


Рисунок 2 – Сравнение эффективности различных способов транспортировки природного газа в зависимости от объемов и дальности [1]

Сравнение транспортировки природного газа в виде СПГ и газовых гидратов. Как уже было отмечено, выбор того или иного способа должен быть обусловлен его экономической эффективностью и рациональностью для конкретных условий. Наиболее эффективное использование объемов хранилищ газа и грузовых танков судов-газовозов обеспечивается при переводе газа в сжиженное состояние – плотность жидкого метана выше газообразного при нормальных условиях в 600 раз, тогда как при переходе в газогидратное состояние удаётся повысить его плотность лишь в 180 раз.

Однако сжиженный газ при хранении и транспортировке требует поддержания температуры $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это, в свою очередь, требует применения особых конструкционных материалов и технологий, отличающихся дороговизной. Сравнительный экономический анализ, выполненный сотрудниками университета NUST (National University of Sciences & Technology) и инженерного центра AKER в 1996 году, показал, что капитальные затраты на инфраструктуру перевозок природного газа в сжиженном и газогидратном состоянии в объёме до 4-х миллионов стандартных куб. метров природного газа в год на расстояние менее 5500 км могут быть сопоставимы [1].

В проекте NUST и AKER разработчиками с целью удешевления перевозки гидратов при атмосферном давлении был выбран такой тип судов как балкер (bulk carrier, судно, приспособленное для перевозки грузов насыпью (навалом)). Строительство и эксплуатация данного типа судов обойдется дешевле, чем для судов-газовозов ввиду конструкции – балкер не требует использования высокотехнологичных материалов и сплавов, способных выдерживать воздействие низких температур. Кроме того, специфика перевозки балкерами не требует особых навыков, тогда как в состав экипажей судов-газовозов, как правило, входит газовый механик (в обязанности которого входит обслуживание и наладка рефрижераторных установок, систем кондиционирования воздуха и т.д.).

Согласно данным, приведенным в работе [5], указано, что если осуществлять морскую перевозку в виде газогидратной пульпы в герметичных резервуарах, она бу-

дет более предпочтительной по ряду показателей. Данный метод обладает более высокими экономическими показателями по сравнению с перевозками газа в виде СПГ при условии перевозок в количестве до 5 млрд м³ на расстояние до 2000 морских миль, а при некоторых условиях и по сравнению с трубопроводным транспортом [4].

В работе [2] проведен сравнительный анализ транспортировки природного газа месторождения Южный Парс. Анализ был проведен с точки зрения капитальных затрат и затрат на транспортировку газа морем к 8 различным потребителям (Рисунок 3).

На рисунке 3 представлено сравнение затрат на транспортировку газа в виде СПГ и в виде гидратов (ГПГ).

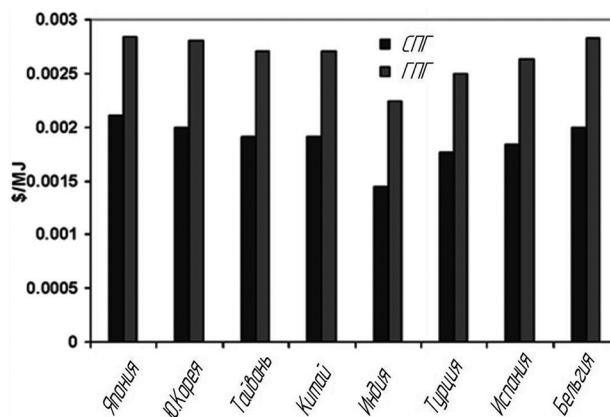


Рисунок 3 – Сравнение затрат на транспортировку природного газа в виде СПГ и в виде газовых гидратов

Согласно рисунку затраты на перевозку газа в виде СПГ ниже, чем в виде гидратов. Однако капитальные затраты на создание инфраструктуры для производства газовых гидратов ниже таковых для заводов по производству СПГ. Причиной тому, как было отмечено выше, является необходимость применения при производстве и транспортировке СПГ особых конструкционных материалов и криогенных технологий. Кроме того, перевозка и хранение газа в виде гидратов проще и безопаснее.

Заключение. Таким образом, существует большое количество методов транспортировки природного газа. Выбор того или иного метода обусловлен прежде всего объемами природного газа, дальностью транспортировки и затратами на его перевозку. При необходимости транспорта больших объемов газа подойдет трубопроводный транспорт, однако если расстояния увеличиваются, СПГ более выгоден. Если сравнить способы транспортировки в виде гидратов и СПГ, то транспортировка природного газа в виде гидратов приемлема при меньших объемах и на меньшие расстояния по сравнению с перевозкой в виде СПГ. Однако при некоторых условиях может служить альтернативой перевозкам газа в сжиженном виде за счет меньших капитальных затрат на создание необходимой инфраструктуры. В то же время, с учетом того, что на данный момент не существует заводов по производству газогидратов и отсутствуют терминалы для отгрузки и приема судов, перевозящих гидраты, данная технология пока не нашла применения на практике.

Список литературы:

1. Gudmundsson J.S. Natural Gas Hydrate an Alternative to Liquefied Natural Gas. – Trondheim, 996.
2. Javanmardi J. & Nasrifar Khashayar & Najibi Seyed Hesam & Moshfeghian M. Natural gas transportation: NGH or LNG? // World Review of Science, Technology and Sustainable Development. – 2007. – 4. 10.1504/WRSTSD.2007.013585.
3. Mitsui Engineering & Shipbuilding. Conference «Look to the Future». – Amsterdam, 2011.
4. Oyewo O. Economic viability of compressed natural (CNG), as a gas transportation alternative to pipeline transportation. A thesisS degree of master of science. – SA, 2009.
5. Патент РФ на полезную модель»МКИ C07 C5/12». Комплекс для доставки природного газа потребителю. Авторы: Гульков А.Н., Лапшин В.Д.

УДК 656.02

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМ ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДОВ С ДОЛГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Вихарев
Александр Николаевич**

**Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова**
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
транспорта, хранения нефти, газа и нефтегазопромыслового
оборудования
a.viharev@narfu.ru

**Долгова
Ирина Ивановна**

**Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова**
доцент, доцент кафедры транспорта, хранения нефти, газа
и нефтегазопромыслового оборудования
i.dolgova@narfu.ru

**Мирзабекова
Жибек Бекжан кизи**

**Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова**
магистрант 2 курса Высшей школы энергетики, нефти и газа
mirzabekova.z.b@edu.narfu.ru

Аннотация. Рассматриваются возможные схемы транспорта углеводородов в Арктике. Выделены группы факторы, влияющие на выбор транспортной схемы, а пределах группы выделены наиболее существенные факторы. Проведен предварительный отбор транспортных схем на примере Долгинского нефтяного месторождения.

Ключевые слова: нефть, месторождение, транспортная схема, лед.

На шельфе арктической зоны Российской Федерации расположен ряд нефтяных, газовых и газоконденстных месторождений, запасы которых сопоставимы с запасами стран Персидского залива. На рисунке 1 показаны только крупнейшие шельфовые арктические месторождения углеводородов, к ним относится и Долгинское нефтяное месторождение, запасы которого оцениваются более чем в 200 миллионов тонн нефтяного эквивалента.



Рисунок 1 – Крупнейшие шельфовые месторождения углеводородов Европейской части Арктической зоны

Месторождение расположено в юго-восточной части континентального шельфа Баренцева моря. Расстояние до берега составляет 120 км, до острова Новая Земля – 100 км, до действующей нефтяной платформы «Приразломная» – 50 км. Глубина моря в районе месторождения составляет 35–50 метров, минимальная температура до – 60 °С, скорость ветра до 40 м/с, толщина льда до 3 м. На рисунке 2 показана ледовая обстановка на начало лета 2021 г. Из рисунка видно, что в западном направлении от Долгинского месторождения лед разной толщины (в основном сплоченность льда 1–6 баллов) наблюдается в радиусе 100–150 км, а далее чистая вода. Подходы к о. Новая Земля, платформе «Приразломная», Варандейскому терминалу закрыты льдом. В то же время в восточном направлении наблюдается сплоченность льда 7–10 баллов на расстоянии в несколько тысяч километров с отдельными участками чистой от льда воды, это существенно затрудняет проводку танкеров.

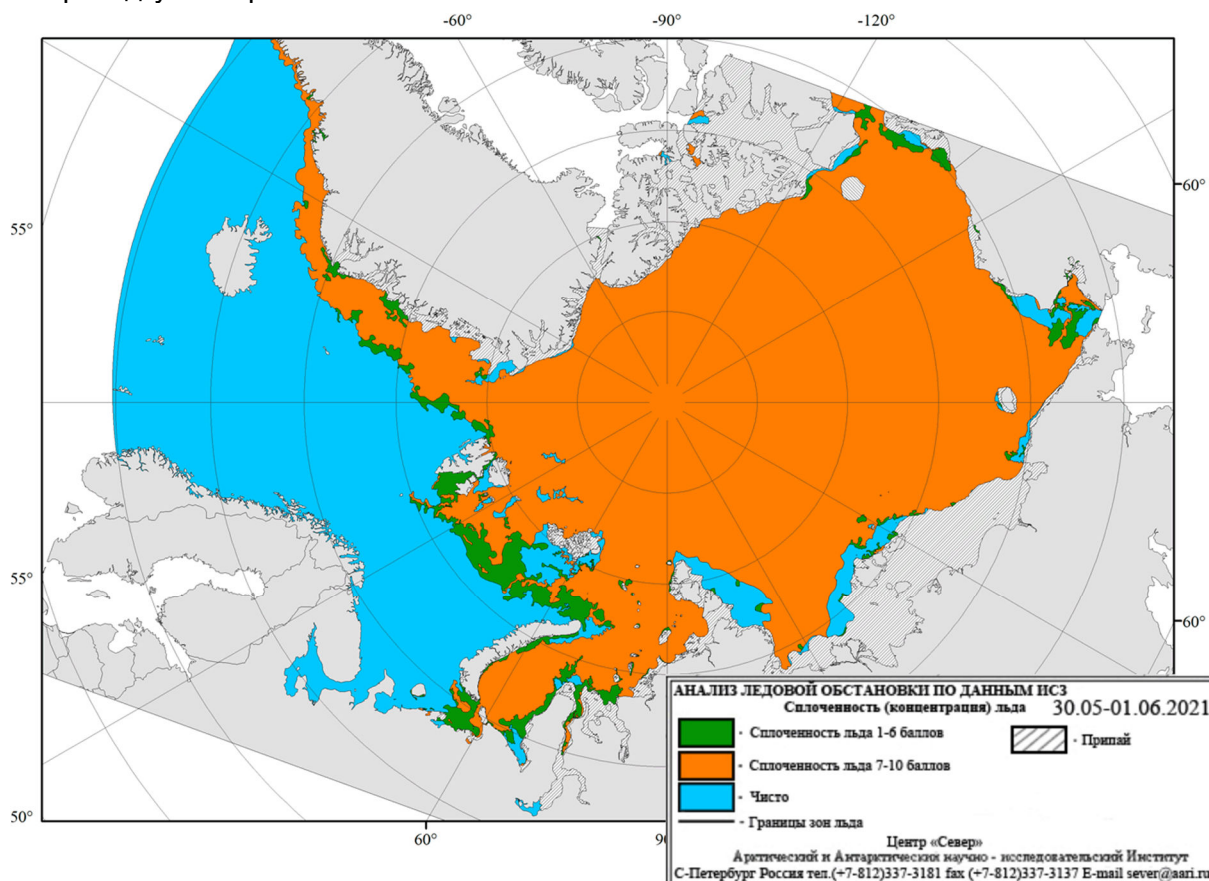


Рисунок 2 – Ледовая обстановка Арктической зоны

Актуальным является не только схема разработки месторождения, но и схемы транспорта нефти. Ряд схем рассмотрены в работах [1...4]. Кратко рассмотрим возможные и перспективные схемы транспорта углеводородов в условиях Арктики.

Схема 1. Месторождение разрабатывается подводными модулями, продукция поступает на технологическое судно, готовая продукция отправляется в танкерах в западном направлении или на Варандейский нефтяной терминал.

Схема 2. Месторождение разрабатывается подводными модулями, продукция поступает на технологическое судно, готовая продукция отправляется в танкерах в восточном направлении по Севморпути.

Схема 1 и 2 отличаются приоритетом основных поставок нефти в западном или восточном направлении. Технологическое судно можно отсоединять от райзеров и в неблагоприятные ледовые или ветровые условия уводить в безопасное место.

Схема 3. Месторождение разрабатывается подводными модулями, продукция поступает на плавучую платформу, готовая продукция отправляется в танкерах в западном направлении или на Варандейский нефтяной терминал.

Схема 4. Месторождение разрабатывается подводными модулями, продукция поступает на плавучую платформу, готовая продукция отправляется в танкерах в восточном направлении по Севморпути.

Схема 3 и 4 отличаются приоритетом основных поставок нефти в западном или восточном направлении, а от 1 и 2 тем, что плавучая платформа все время соединена с подводными модулями.

Схема 5. Месторождение разрабатывается со стационарной платформы, готовая продукция отправляется в танкерах в западном направлении.

Схема 6. Месторождение разрабатывается со стационарной платформы, готовая продукция отправляется в танкерах в восточном направлении по Севморпути.

Схема 5 и 6 отличаются приоритетом основных поставок нефти в западном или восточном направлении, а от 3 и 4 тем, что основание платформы находится на морском дне.

Схема 7. Месторождение разрабатывается подводными модулями, по дну прокладывается подводный трубопровод для транспортировки многофазной продукции на платформу «Приразломная». Далее готовая продукция транспортируется по действующей инфраструктуре.

Схема 8. Месторождение разрабатывается подводными модулями, по дну прокладывается подводный трубопровод для транспортировки многофазной продукции на платформу на остров «Новая земля», на берегу ведется подготовка нефти к транспорту танкерами.

Схема 9. Месторождение разрабатывается подводными модулями, судно, продукция поступает на технологическое судно, готовая продукция транспортируется подводными танкерами подо льдом в восточном направлении.

Рассмотрим факторы, влияющие на выбор транспортной схемы. Можно условно выделить следующие группы факторов:

- природно-климатические (возможность использовать схему в условиях Арктики, допустимость по глубинам, допустимость по ледовой обстановке, допустимость по течениям, допустимость по силе ветра);
- эксплуатационно-геологические (виды углеводородов, запасы, вязкость, парафины, асфальтены);
- развитость технологии (наличие действующей инфраструктуры, оборудование импортное или отечественное, наличие флота, в т.ч. ледокольного);
- геополитические риски, которые в последнее время многократно выросли.

На начальном этапе исследований проанализируем только качественные показатели:

- возможность применения;
- частичное применение (комплекс оборудования частично отечественного, а частично импортного производства или фактор находится на верхнем или нижнем пределе, например глубина моря);
- затрудненное применение (только импортное оборудование, или часть оборудования только в проектных проработках и условия могут быть выполнены с дополнительными капитальными затратами, например дноуглубительные работы).

В таблице приведены предварительные результаты исследований по влиянию факторов на выбор транспортной схемы.

Анализ показывает, что наиболее предпочтительными схемами являются 1, 2, 5, 6, 7. Схемы 1, 2 различаются только направлениями транспорта. Хотя в западном направлении путь значительно короче, особенно во льдах, но в условиях сегодняшней геополитической обстановки реализация этого пути вызывает большие риски, в то же время нет большого опыта использования подводных модулей и технологических судов. Схемы 5 и 6 также отличаются только направлениями транспорта, геополитические риски аналогичны схемам 1, 2. В России имеется опыт строительства стационарных платформ (платформа «Приразломная» построена в г. Северодвинск, Архангельской обл.) и их эксплуатации в условиях Арктики и, с этой точки зрения схемы 5 и 6 более предпочтительны. Схема 7 требует строительства подводного трубопровода в условиях Арктики, когда чистая ото льда вода для укладки трубопровода находится в очень ограниченном периоде.

Дальнейшая более детальная проработка предпочтительных схем с учетом технико-экономических показателей позволит сузить круг схем транспорта.

Таблица – Влияние факторов на выбор транспортной схемы

Факторы, влияющие на выбор схемы	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4	Схема 5	Схема 6	Схема 7	Схема 8	Схема 9
Использование в условиях Арктики	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Допустимость по глубинам	+	+	*	*	+	+	+	+	+
Допустимость по ледовой обстановке	+	*	+	*	+	*	+	+	+
Допустимость по течениям	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Допустимость по силе ветра	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Допустимость по запасам	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Допустимость по вязкости	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Производители оборудования	*	*	*	*	*	*	+	*	х
Наличие имеющейся инфраструктуры	*	*	*	*	*	*	+	*	х
Геополитические риски	*	+	*	+	*	+	*	*	+

Примечание: + – возможно применение; * – частичное применение; х – затруднено применение.

Список литературы:

1. Митько А.В. Маршруты арктических углеводородов // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. – 2017. – № 11 (71). – С. 24–35.
2. Васильев Б.Ю., Шульженко В.М. Подводная транспортировка в Арктике // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. – 2017. – № 11 (71). – С. 18–22.
3. Гимаева А.Р., Хасанов И.И., Шобик Н.А. К вопросу выбора схемы транспортировки углеводородов, добываемых с шельфа арктических морей [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. – 2018. – Т. 16(3). – С. 62–69. – URL : <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2018-3-62-69>
4. Мирзабекова Ж.Б. Транспортировка нефти с Долгинского месторождения, Печорское море, Россия // Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVI Международной научно-практической конференции. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2022. – С. 182–184.

УДК 622.276.8

**ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ
НА НЕФТЕГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ****Гилаев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Гилаев
Руслан Ганиевич****АО «САМОТЛОРНЕФТЕГАЗ»**
главный инженер**Айрапетян
Самвел Рудикович****Кубанский государственный технологический университет**
студент
samvellov@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматривается влияние сульфатвосстанавливающих бактерий на нефтегазовое оборудование.

Ключевые слова: сульфатвосстанавливающие бактерии, биокоррозия, бактерициды, микроорганизмы, коррозия.

Биохимическая коррозия, или биокоррозия, вызывается жизнедеятельностью различных микроорганизмов, использующих металл как питательную среду или выделяющих продукты, действующие разрушающе на металл. Биокоррозия обычно накладывается на другие виды коррозии. Для ее развития наиболее благоприятны почвы определенных составов, застойные воды и некоторые органические продукты.

До настоящего времени еще не удалось сформулировать такое определение понятия коррозия которое было бы принято большинством коррозионистов и электрохимиков. Поэтому до разработки соответствующего ГОСТа приходится ограничиться лишь описанием того, что обычно понимается под коррозией металлов. Коррозия представляет собой переход атомов из кристаллической решетки металла в соединение с какими-либо компонентами среды. При этом уменьшается масса металла и изменяются (обычно ухудшаются) многие из его свойств, например его прочностные характеристики, происходит разрушение металла. Причинами, вызывающими коррозию металла, могут быть взаимодействие с компонентами среды (химическая или электрохимическая коррозия), попадание в металлоконструкции блуждающих токов и возникновение зон разрушения – анодных участков (электрокоррозия). Часто эти процессы накладываются друг на друга их протеканию может способствовать жизнедеятельность различных микроорганизмов (биокоррозия).

Биокоррозия металлов обычно протекает совместно с атмосферной или почвенной, в водных растворах или в неэлектролитах, инициирует и интенсифицирует их. Биоповреждениям подвержены подземные сооружения, метро, оборудование нефтяной промышленности, топливные системы самолетов, трубопроводы при контакте с почвой и водными средами и др. Характерные признаки биоповреждений шероховатые, малозаметные углубления, иногда под щламом и тонким налетом продуктов коррозии, язвенные углубления кратерообразной формы, иногда сквозные с обильным налетом продуктов коррозии, черные сухие корки или пастообразные вещества с белыми или серыми включениями.

Одним из путей обеспечения удаления с поверхности деталей влаги и инородных частиц является подбор текстуры и смачиваемости поверхностей. При грубой текстуре поверхности детали происходит ее интенсивное коррозионное разрушение. Это объясняется тем, что к участкам металла в углублениях поступает кислорода меньше,

чем к участкам на гребнях. В связи с этим при взаимодействии нейтральной или щелочной среды, когда процесс коррозии металла идет с кислородной деполяризацией, на участках с большой концентрацией кислорода значение положительного потенциала выше, чем на участках с меньшей концентрацией кислорода. Вследствие дифференциальной аэрации возникает коррозионный микроэлемент. Кроме того, на детали собираются и удерживаются влага, пыль, грязь, остатки перерабатываемых и транспортируемых продуктов, которые, в свою очередь, могут способствовать размножению микроорганизмов и протеканию процессов биокоррозии. При грубой текстуре затрудняется нанесение качественных гальванических покрытий.

Сульфатовосстанавливающие бактерии восстанавливают сульфат в сульфид, образуя при этом агрессивный H₂; последний реагирует с железом, образуя при этом нерастворимое железо, которое закупоривает поверхность пласта в призабойной зоне нагнетательных скважин.

Эти бактерии производят массу слизи, накапливающуюся в трубопроводах. Эти массы изолируют анаэробные участки, пригодные для развития сульфатовосстанавливающих бактерий, в результате чего создаются идеальные условия для коррозии.

Тактерли размножаются с невероятной быстротой и могут явиться причиной таких явлений, как коррозия и закупорка пласта, увеличение поверхности раздела фаз нефть-вода-механические примеси.

Подавление роста сульфатовосстанавливающих бактерий в ПЗП, на оборудовании скважин и внутренней поверхности трубопроводов осуществляется с помощью бактерицидных препаратов и ингибиторов бактериальной коррозии. Это достигается периодической обработкой ударной дозой бактерицида ПЗП и коммуникаций или постоянной дозировкой бактерицида в защищаемые системы.

Причиной коррозии могут быть и сульфатовосстанавливающие бактерии, находящиеся в земле и воде в местах контакта с днищем резервуара.

Нефтепромысловые сточные воды могут быть заражены сульфатовосстанавливающими бактериями (СВБ), поступающими с бытовыми или промливневыми стоками, бактерии способствуют выпадению осадков карбоната кальция и сульфида железа.

Технология изоляции водопритоков снижает численность сульфатовосстанавливающих бактерий на несколько порядков.

К вторичным анаэробам относятся и сульфатредуцирующие бактерии, работающие параллельно метаногенам и использующие продукты первых стадий процесса.

Другим возможным деполяризатором катодного процесса являются сульфатовосстанавливающие бактерии, которые при этом образуют сероводород.

Аттестация скважин проводится с учетом геолого-физических характеристик продуктивных пластов, состава и свойств пород и насыщающих флюидов, качества закачиваемой воды (содержание кислорода, коррозионная активность, содержание механических примесей, ионов железа, солесодержание и др.). Качественный состав нагнетаемых вод не должен стимулировать жизнедеятельность сульфатовосстанавливающих (редуцирующих) бактерий, солеотложение в скважинах, набухание глинистых фракций. При использовании пластовых сточных вод необходимо минимизировать содержание эмульгированной нефти, растворенных углекислого и сероводородного газа и других агрессивных веществ (химреагентов).

Развитие биохимических процессов в нефтяной залежи (сульфатредукция), в свою очередь, увеличивает содержание сероводорода в нефти, пластовых водах и газе и способствует снижению проницаемости пластов. Продукты окислительных реакций – вода и сероводород.

Требования, предъявляемые к качеству закачиваемой речной воды, постоянно возрастают, и сегодня для их использования в заводнении нефтяных пластов рекомендуется комплекс технологической подготовки. С помощью двухступенчатого фильтрования или последовательных операций, связанных с коагулированием, отстаиванием и фильтрованием, содержание в речной воде твердых механических примесей ограничивается 2–5 мг/л, растворенного кислорода – не более 0,1 мг/л, а коррозионная агрессивность не должна превышать 0,15 мм/год. При подготовке речной воды должны быть полностью удалены сульфатовосстанавливающие бактерии.

Список литературы:

1. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
2. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
3. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
4. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
5. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
6. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
7. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
8. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
9. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
10. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.
11. Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Повышение эффективности избирательной кислотной обработки скважин путем применения точечной гидропескоструйной перфорации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 2. – С. 146–152.
12. Проблемы предупреждения и ограничения пескопроявлений в нефтедобыче / Г.Г. Гилаев [и др.]. – М., 2004.
13. Гилаев Г.Г., Ковалёв Н.И., Хисметов Т.В. Справочное пособие по технологии и техническим средствам добычи нефти. – Краснодар, 2005. – Часть 2.
14. Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Исследование процесса возбуждения пульсаций в движущемся потоке жидкости в трубопроводе // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 93–98.
15. Оптимизация состава сооружений как элемент управления затратами при обустройстве нефтяных месторождений / Г.Г. Гилаев [и др.] // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2015. – № 3 (40). – С. 78–80.
16. Вартумян Г.Т., Гилаев Г.Г., Тригубова Е.А. Проблемы повышения долговечности цементного камня в скважине. – М., 2001.
17. Гилаев Г.Г. Способы решения проблемы высокого затрубного давления, создаваемого попутным нефтяным газом, в скважинах, эксплуатирующихся УЭЦН // Ашировские чтения. – 2021. – Т. 1. – № 1 (13). – С. 233–236.
18. Объективные основы бурения горизонтальных и разветвленно-горизонтальных скважин / Г.Г. Гилаев [и др.] // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 304–307.

19. О Причинах появления межколонного давления в нефтегазовых скважинах / А.Т. Кошелев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 7. – С. 16–20.

20. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т., Фоку Ж. Термоволновые методы повышения нефтеотдачи пластов//освоение месторождений трудноизвлекаемых и высоковязких нефтей // Освоение и добыча трудноизвлекаемых и высоковязких нефтей. 4-я Международная конференция. – 2004. – С. 18–21.

21. Гилаев Г.Г., Останков Н.А., Козлов С.А., Пашкевич К.Л., Ртищев А.В., Григорян Л.Г., Игнатенков Ю.И. Способ снижения образования вторичного сероводорода при подготовке нефти и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2666543 С1, 11.09.2018. Заявка № 2017119383 от 01.06.2017.

22. Моделирование жидкостных потоков в центробежном сепараторе / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 349–354.

23. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Бахтизин Р.Н. Совершенствование инфраструктуры нефтегазодобычи, как эффективный инструмент поддержания базовой добычи нефти и газа // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2021. – № S2. – С. 121–130.

УДК 622. 276.6

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРП В ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ НА ПРИМЕРЕ ФАИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ги́лаев
Гани Гайсинович

Кубанский государственный технологический университет
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com

Гончаров
Андрей Сергеевич

Кубанский государственный технологический университет
студент
dikiy_ananas@icloud.com

Аннотация. На сегодняшний день гидроразрыв пласта считается как эффективный метод воздействия на призабойную зону скважин (ПЗС) и технология, позволяющая значительно увеличить коэффициент извлечения нефти. В этой статье рассматривается эффективность ГРП.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта.

1 Введение. Гидравлический разрыв пласта – довольно эффективный в настоящее время, метод интенсификации добычи нефти из низкопроницаемых коллекторов (НПК), получивший массовое применение в Западной Сибири. Чаще всего гидроразрывы дают положительные результаты, однако эффективность зависит от геолого-физических характеристик пластов. Одним из наиболее серьезных факторов снижающих успешность проведения, является наличие обширных водонефтяных зон (ВНЗ), особенно в залежах, представленных НПК. В этом случае возникает вопрос, что предпочтительнее – продлить эксплуатацию скважин (без ГРП) с невысоким дебитом нефти или, сделав ГРП, повысить обводненность.

2. Технология проведения ГРП. Технология заключается в нагнетании в скважину, при помощи насосных станций, по НКТ жидкости разрыва (геля), которая может быть приготовленной на водяной или углеводородной основе, например нефть, дизельное топливо. Давление, которое создаётся жидкостью, разрывает породу пласта, в следствии чего возникает трещина, которая постоянно с небольшой скоростью увеличивается в своём размере, за счет того, что продолжается закачиваться жидкость. При образовании трещины заданных размеров в высоковязкую жидкость начинает нагнетаться расклинивающий агент, который называется проппантом (представляет собой искусственный песок с шаровидными частицами, изготовленный на основе бокситов). Проппант попадает в трещину за счёт жидкости разрыва, которая доставляет его. Цель проппанта – снятие избыточного давления и закрепление трещины в раскрытом состоянии после завершения подачи жидкости разрыва пласта в скважину. За счёт этого процесса появляется новый, более обширный канал притока, который соединяет ранее существующие природные естественные трещины и образует дополнительную зону дренирования скважины. На последней стадии, проппант оставшийся в скважине после заполнения трещины, продавливается в пласт гелем. Как следствие, благодаря созданной трещине, закрепленной проппантом, увеличивается зона пласта, дренируемая скважиной, присоединяются не участвующие ранее в разработке участки залежи, появляется высоко проводящий проток для транспортирования нефти в скважину, что позволяет увеличить дебит добывающих скважины, КИН, и тем самым перевести часть балансовых запасов нефти в промышленные.

3. Актуальность проблемы. В большинстве нефтедобывающих регионов, происходит ухудшение структуры запасов нефти и истощение высокопродуктивных залежей и это сопровождается тем, что возрастает доля запасов с низкими дебитами скважин, которые трудно извлекаются. Для того, чтобы увеличить добычу газа прово-

дят множество различных исследований и разрабатывается большое количество месторождений, но чаще всего данные месторождения неоднородные и низкопроницаемые. При разработке таких месторождений нужно использовать интенсификации притока газа к забоям скважин. Самым распространённым методом такой интенсификации является гидроразрыв пласта. В России, в нефтегазовой отрасли, огромное внимание уделяется развитию ГРП и в настоящее время данная тема достаточно актуальна и востребована.

ГРП является самым эффективным методом для повышения дебетов скважин, так как он не только интенсифицирует выработку запасов, но и при определённых условиях, приобщив к выработке прослой пласта и слабо дренируемые участки, расширяет эту зону и как следствие, за счёт этого, позволяет достичь максимальной конечной точки в нефтеотдаче

4. Цель гидравлического разрыва

1) повысить продуктивность пласта путем увеличения эффективного радиуса дренирования скважины. В пластах с относительно низкой проницаемостью гидроразрыв – лучший способ повышения продуктивности;

2) создать канал притока в пристволенной зоне нарушенной проницаемости.

5. Эффективность. Одним из эффективных методов повышения продуктивности скважин является гидравлический разрыв пласта (ГРП). Гидравлический разрыв может быть определен как механический метод воздействия на продуктивный пласт, при котором порода разрывается по плоскостям минимальной прочности благодаря воздействию на пласт давления, создаваемого закачкой в пласт флюида. В результате чего повышается дебит добывающих или приемистость нагнетательных скважин за счет снижения гидравлических сопротивлений в призабойной зоне и увеличения фильтрационной поверхности скважины, а также увеличивается конечная нефтеотдача за счет приобщения к выработке слабо дренируемых зон и пропластков.

Вывод

Гидроразрыв пласта позволяет увеличить коэффициент извлечения нефти.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.

10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотт-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
17. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

УДК 622. 276.7

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ
ПЕСЧАНЫХ ПРОБОК НА ПРИМЕРЕ ООО «ГАЗПРОМДОБЫЧАУРЕНГОЙ»****Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Гончаров
Андрей Сергеевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
dikiy_ananas@icloud.com**Ульянов
Сергей Сергеевич****УДНГ АО «Самарнефтегаз»**
начальник

Аннотация. В процессе эксплуатации нефтяных скважин в стволе образуются песчаные пробки, которые в ряде случаев доходят до интервалов перфорации эксплуатационной колонны и приводят к снижению дебита, а в ряде случаев к полному прекращению поступления жидкости из пласта. Особенно интенсивно процесс образования песчаных пробок происходит на месторождениях нефти, продуктивные горизонты которых представлены слабосцементированными песчаниками и глино-песчанистыми горными породами. Необходимость промывки песчаных пробок создает проблемы технического характера, связанные с необходимостью проведения монтажно-демонтажных работ, а также с необходимостью применения специального оборудования для промывки ствола скважины.

Ключевые слова: эффективность, песчаные пробки.

1 Введение. Значительная часть фонда газовых скважин работает с ограничением по дебиту из-за выноса пластовой воды и песка и в ближайшее время может выйти в бездействие. В связи с этим основными видами ремонта газовых скважин являются: ограничение и ликвидация водопескопроявлений, удаление с забоя песчаных пробок, восстановление продуктивности.

Поэтому для успешной эксплуатации месторождения необходимо комплексное проведение работ по поддержанию работоспособности действующего фонда скважин, включающих в себя:

- удаление песчаных пробок;
- ограничение и ликвидация притока пластовой воды и песка.

Однако ремонт скважин по указанным технологиям производился только с подъемных установок, использование которых предусматривает комплекс работ по глушению скважин, замене подземного оборудования, проведению изоляционных работ, освоению скважин. Данные работы требуют больших материальных затрат, которые не всегда оправдываются из-за значительного снижения дебита после ремонта скважины.

Имеющийся опыт использования колтюбинговых установок позволяет более рационально поддерживать скважины в рабочем состоянии, своевременно и качественно проводить работы по повышению их продуктивности при минимальных затратах материальных и трудовых ресурсов.

2. Эффективность. Для изучения эффективности ремонта с использованием колтюбинговой установки сеноманских скважин Уренгойского месторождения специалистами УИРС и УГПУ ООО «ГазпромДобычаУренгой» была разработана «Программа проведения исследовательских работ», которой предусматривается периодическое проведение работ по замеру текущего забоя, газодинамических исследований с отбором проб через установку «Надым».

Цель. Целью данных исследований являлось определение межремонтного периода (накопление песчаной пробки в скважине), определение оптимального технологического режима эксплуатации скважины и разработка перспективной программы сервисного обслуживания для внедрения его на Уренгойском месторождении и других газовых месторождениях Западной Сибири. Несмотря на достигнутые результаты, в связи со старением месторождения и дальнейшим ухудшением геолого-технических условий проведения работ, проводятся работы по разработке новых и совершенствованию имеющихся технологий промывки песчаных пробок и рецептур промывочных жидкостей (так, например, ведутся опытно-промышленные работы по внедрению растворов на основе НТЖ).

Развитие колтюбинговых технологий находит все большее применение в промышленности. В практике нефте- и газодобычи эти технологии применяются для выполнения различных операций в процессе разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, в том числе для бурения.

При разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений колтюбинговые технологии позволяют производить ремонт нефтяных и газовых скважин под давлением без нарушения (остановки) их режима эксплуатации (проводить ремонтные и технологические операции без глушения скважин и подъема колонны насосно-компрессорных труб). Помимо этого, применяются колтюбинговые технологические операции в нагнетательных скважинах, при бурильных работах (от бурения гибкими трубами дополнительных горизонтальных стволов из колонны старой скважины до полного технологического цикла построения скважин), при освоении скважин, геофизических в сильно искривленных и горизонтальных участках ствола скважины и других работах.

При этом, время на проведение работ колтюбинговыми установками уменьшают общие затраты на ремонт, сокращает простои скважин, дают возможность проводить многие технологические операции, недоступные традиционными методами и, в конечном итоге, увеличивают добычу нефти и газа.

Анализ. Проанализированы результаты статистической обработки фактических промысловых данных, собранных за период эксплуатации залежи, установлены эмпирические зависимости, которые отражают реально протекающие процессы и являются основой для прогноза поведения системы в дальнейшем, а также для разработки мероприятий по предупреждению и ликвидации возможных осложнений.

Анализ колтюбинговой установки с точки зрения источников потерь гидравлической энергии показал, что потери напора происходят:

- 1) по длине безмуфтовой длинномерной трубы (БДТ) – P_T ;
- 2) в сварных стыках БДТ – $P_{ср}$;
- 3) в узлах гидравлической обвязки установки на поверхности – P_M ;
- 4) в забойной (технологической) компоновке низа БДТ – $P_{нас}$.

Потерями в остальных узлах можно пренебречь, так как внутренние проходные сечения в них равны внутреннему сечению БДТ. Причина обводнения фонда скважин в процессе эксплуатации достаточно тривиальна: падение пластового давления при отборе газа из залежи. Поскольку сеноманская газовая залежь водоплавающая, то, с одной стороны, происходит подъем ГВК, и когда он достигает нижних отверстий интервала перфорации, начинается поступление воды в скважину. С другой стороны, из-за некачественного цементирования эксплуатационной колонны вода может начать поступать по кольцевому пространству из водоносных пластов, залегающих как ниже, так и выше интервала перфорации.

Вода не только сама по себе создает проблемы при добыче газа, но и вызывает дополнительные, активно воздействуя на коллектор, содержащий глину.

Поэтому детально рассмотрено состояние воды в горных породах, показано, что она может находиться в восьми формах: от конституционной до парообразной. Приведем краткую гидрогеологическую характеристику сеноманского водоносного комплекса УГКНМ. Пластовые воды сеномана имеют общую минерализацию 18...19 г/л и относятся к хлоркальциевому типу по Сулину. Верхние воды практически пресные, с минерализацией менее 1 г/л.

Газоносный коллектор представлен кварцевым песком, сцементированным глиной, состоящей из 43 % по массе каолинитов, 43 % иллитов, 12 % смектитов и 2 % хлоритов. Показано взаимодействие воды с глиной и песком, рассмотрены силы, действующие на частицы глины и песка при их увлажнении, изменение сил при изменении влажности. Прочность глинистого цемента с ростом влажности уменьшается, а силы капиллярного сцепления песчинок уменьшаются как с ростом, так и с уменьшением влажности.

Причина выноса песка из пласта более сложная. Во-первых, песок может выноситься в скважину в результате уноса песчинок потоком газа с поверхности фильтрации. Во-вторых, он может выноситься из массива пласта по каналам фильтрации газа. В обоих случаях песок будет выноситься, если силы, способствующие выносу, будут превышать силы, удерживающие песчинки на месте. В первом случае песчинки удерживаются под действием горного давления и сил капиллярного сцепления, а выносу способствует собственный вес песчинок, давление бокового распора и гидродинамическое давление потока газа. Во втором случае могут выноситься только песчинки, размер которых меньше размера каналов фильтрации газа. Геометрические расчеты для частиц сферической формы при их наиболее плотной упаковке показали, что могут выноситься частицы диаметром менее $0,15 d_c$; где d_c – диаметр частиц, образующих скелет пласта. Эти частицы удерживаются на месте собственным весом и капиллярным сцеплением, а выносятся гидродинамическим давлением потока газа. В работе с определенными, вполне приемлемыми допущениями получены выражения для всех действующих сил и аналитически решена задача выноса песка в скважину.

Предварительный анализ показал, что слой песчинок, находящийся на поверхности фильтрации газа в скважину, можно принять разгруженным от действия горного давления и давления бокового распора. Также можно пренебречь и весом песчинок, поскольку он значительно (более 100 раз) меньше других сил.

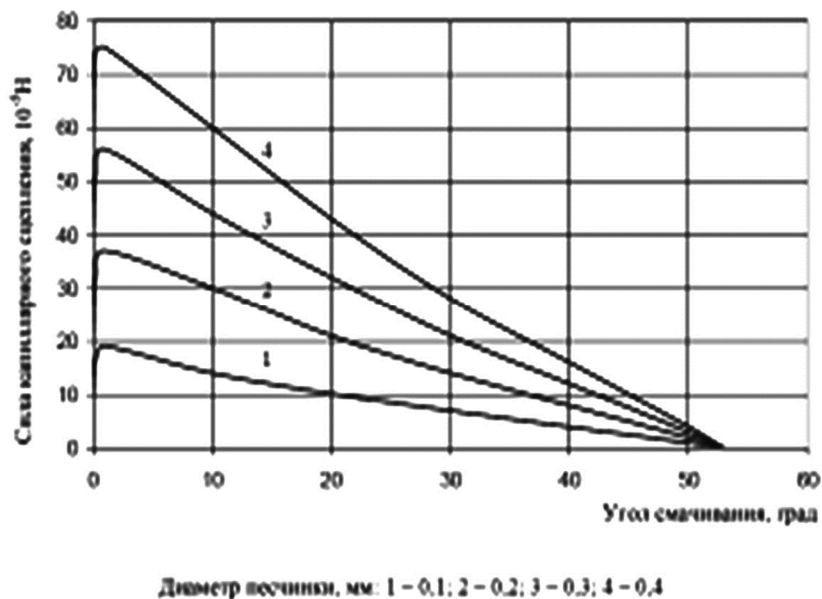


Рисунок 1 – Зависимость силы капиллярного сцепления песчинки от угла смачивания

По результатам работ специалистами управления сделаны предварительные расчеты, которые показывают, что совместное применение колтюбинговых и подъемных установок дадут возможность снизить затраты на ремонт скважин примерно в 2 раза. Кроме того, значительно повышается экологическая безопасность эксплуатации и ремонта скважин вследствие снижения выброса в атмосферу природного газа, технологических жидкостей и продуктов их сгорания в результате сокращения числа и продолжительности продувок скважин.

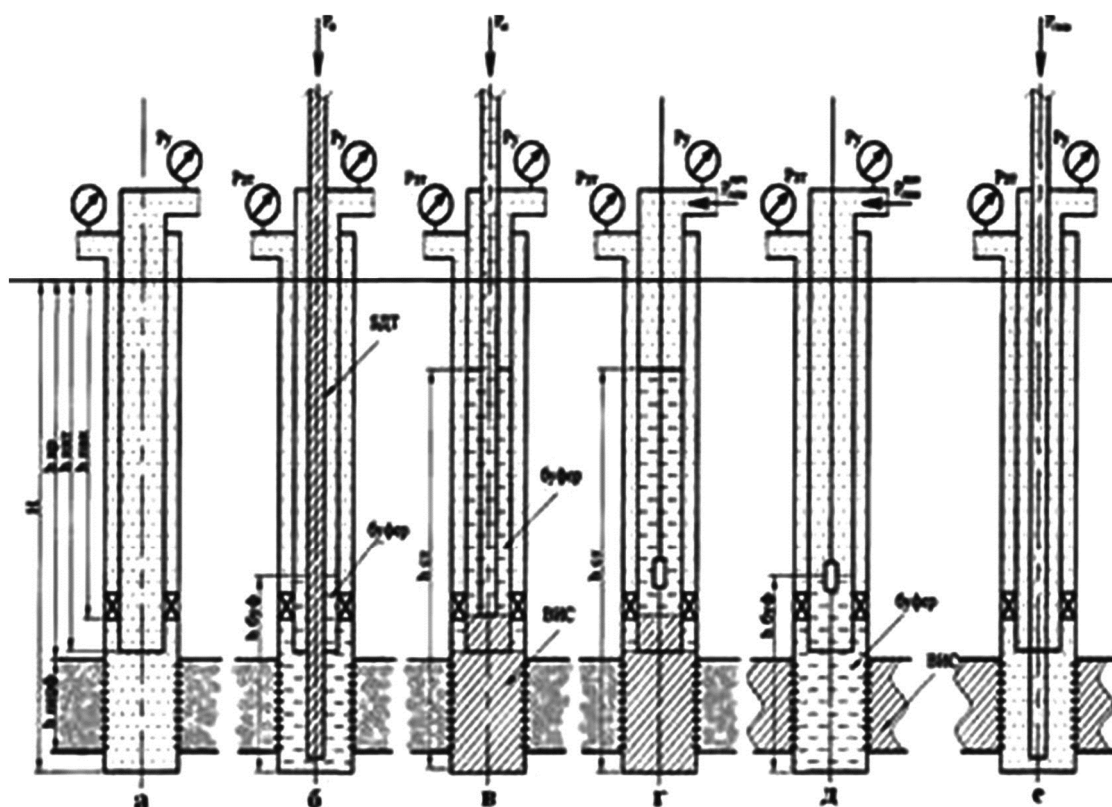


Рисунок 2 – Схема проведения работ с использованием колтюбинговой установки

Вывод. Экономический эффект от применения новой технологии проявился в снижении затрат на проведение ремонтных работ и продолжительности капитального ремонта.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близиуков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.

10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотт-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. редактор С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

УДК 622.276.6

**ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ МЕТОДОМ
СОЛЯНОКИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ****Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Гиладев
Руслан Ганиевич****АО «САМОТЛОРНЕФТЕГАЗ»**
главный инженер**Зражевский
Олег Васильевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
gg_dd_20011@mail.com

Аннотация. В данной статье рассматривается метод интенсификации добычи нефти с помощью солянокислотной обработки.

Ключевые слова: интенсификация, солянокислотная обработка, кислотная ванная, обычная солянокислотная обработка, кислотные эмульсии.

В процессе разработки нефтяных и газовых месторождений, как правило дебит эксплуатационных скважин со временем падает, а поглощательная способность нагнетательных скважин снижается. Иногда дебит вновь вводимых в эксплуатацию скважин оказывается намного ниже расчетного.

Производительность нефтяных и газовых скважин, а также поглощательная способность нагнетательных зависит от многих факторов и особенно от проницаемости пород, слагающих продуктивный пласт.

Плотные слабопроницаемые коллекторы значительно ухудшают приток нефти и газа к забоям эксплуатационных скважин, а в нагнетательных резко снижают их поглощательную способность.

Снижается естественная проницаемость пород, и вследствие несовершенства вскрытия продуктивного пласта. В процессе бурения призабойные зоны скважин часто загрязняются отфильтрованным глинистым раствором, что приводит к закупорке пор пласта и снижению его проницаемости.

В процессе эксплуатации нефтяных и газовых скважин призабойная зона загрязняется различными механическими примесями, присутствующими в закачиваемой воде (ил, глина, окислы железа и т.д.).

Для облегчения притока нефти и газа к забоям эксплуатационных скважин и поглощения воды нагнетательными скважинами применяют методы искусственного воздействия на породы призабойной зоны с целью увеличения их проницаемости. Иногда бывает достаточно удалить со стенок поровых каналов пласта в призабойной зоне частицы парафина, смолистых и глинистых веществ, и производительность скважины резко возрастает.

В большинстве же случаев приходится искусственно увеличивать, число поровых каналов на забое и удлинять их протяженность, т.е. повышать трещиноватость пород продуктивного пласта.

По характеру воздействия на призабойную зону скважин методы увеличения проницаемости пород могут быть условно разбиты на химические, механические, тепловые и физические. Для получения хороших результатов часто эти методы применяют в сочетании друг с другом или последовательно.

Выбор метода воздействия на призабойную зону определяется особенностями строения продуктивных пластов, составом пород и другими пластовыми условиями.

Так, например, химические методы, и в частности, солянокислотная обработка пласта, дают хорошие результаты в слабопроницаемых карбонатных породах. Применяют обработку кислотой скважин, продуктивные пласты которых сложены сцементированными песчаниками, содержащими карбонатные вещества.

Применение химических методов воздействия на продуктивные пласты основано на происходящих реакциях взаимодействия закачиваемых химических веществ, в основном различных кислот, с некоторыми породами, которые растворяются, тем самым увеличивая размеры поровых каналов и повышая пластовую проницаемость.

Полученные в результате реакции хлористый кальций (CaCl_2) и хлористый магний (MgCl_2) хорошо растворяются в воде. Таким образом, в результате реакции вместо твердой породы образуются вещества, остающиеся в растворе, которые легко могут быть удалены из призабойной зоны пласта. В породе пласта образуются новые пустоты и каналы, облегчающие поступление жидкости и газа из пласта, благодаря чему возрастает производительность скважины.

Применять для обработки известняков и доломитов кислоты, такие, как, например, серная кислота, нельзя, так как в результате химической реакции образуются нерастворимые в воде соли, которые, осаждаваясь на забое скважины, будут закупоривать поры пород.

Эффективность взаимодействия растворов соляной кислоты с карбонатными породами зависит от многих факторов: концентрации кислоты, ее количества, давления при обработке, температуры на забое, скорости движения кислоты, характера пород и т.д.

В практике промышленного применения обычно используют 8–15 %-ную соляную кислоту, в которой на 100 весовых частей водного раствора приходится от 8 до 15 частей концентрированной соляной кислоты. Применять кислоты с большей концентрацией не рекомендуется, так как концентрированная кислота, вступая в реакцию с металлическим оборудованием, быстро его разрушает. Кроме того, концентрированная кислота, химически взаимодействуя с известняками и доломитами, частично растворяет гипс, который, выпадая из раствора в виде осадка, будет закупоривать поры пласта. Применение кислотного раствора слабой концентрации потребует закачки в скважину слишком больших количеств раствора HCl , в результате чего снизится эффективность взаимодействия.

Для скважин с низким пластовым давлением и хорошей проницаемостью продуктивных пород следует пользоваться растворами с 10–12 %-ной концентрацией HCl . Скважины с высокими пластовыми давлениями и малой проницаемостью рекомендуется обрабатывать растворами с 12–15 %-ной концентрацией HCl . Растворы с 8–10 %-ной концентрацией целесообразно использовать при обработке скважин, эксплуатирующих песчаники с карбонатным цементом.

Объем кислотного раствора выбирают в зависимости от мощности пласта, подлежащего обработке, химического состава породы, физических свойств пласта (пористость, проницаемость) и числа предыдущих обработок.

На основе большого опыта применения кислотных обработок продуктивных пластов с карбонатными коллекторами определены средние объемы (от 0,4 до 1,5 м³) раствора 8–15 %-ной кислоты на 1 м обрабатываемого интервала.

Небольшие объемы (0,4–0,6 м³ на 1 м мощности) применяют для обработки малопроницаемых пород с невысокими начальными дебитами скважин.

Для скважин с более высокой проницаемостью берут несколько большие объемы (0,8–1 м³). Для скважин с высоким начальным дебитом и породами высокой проницаемости применяют 1–1,5 м³ на 1 м мощности пласта. Следует учитывать, что минимальный объем кислоты назначается при первой обработке призабойной зоны. При повторных обработках объем кислотного раствора увеличивают на 20–40 % по сравнению с предыдущей обработкой.

При обработке песчаных коллекторов с карбонатным цементом следует брать не более 0,4 м³ кислотного раствора на 1 м мощности пласта, а при обработке скважин, пробуренных на плотные карбонатные, сильно трещиноватые пласты – 0,5–0,8 м³ раствора на 1 м мощности пласта.

Список литературы:

1. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
2. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
3. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
4. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
5. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
6. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
7. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
8. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
9. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. редактор С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
10. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.
11. Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Повышение эффективности избирательной кислотной обработки скважин путем применения точечной гидropескоструйной перфорации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 2. – С. 146–152.
12. Проблемы предупреждения и ограничения пескопроявлений в нефтедобыче / Г.Г. Гилаев [и др.]. – М., 2004.
13. Гилаев Г.Г., Ковалёв Н.И., Хисметов Т.В. Справочное пособие по технологии и техническим средствам добычи нефти. – Краснодар, 2005. – Часть 2.
14. Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Исследование процесса возбуждения пульсаций в движущемся потоке жидкости в трубопроводе // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 93–98.
15. Оптимизация состава сооружений как элемент управления затратами при обустройстве нефтяных месторождений / Г.Г. Гилаев [и др.] // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2015. – № 3 (40). – С. 78–80.
16. Вартумян Г.Т., Гилаев Г.Г., Тригубова Е.А. Проблемы повышения долговечности цементного камня в скважине. – М., 2001.
17. Гилаев Г.Г. Способы решения проблемы высокого затрубного давления, создаваемого попутным нефтяным газом, в скважинах, эксплуатирующихся УЭЦН // Ашировские чтения. – 2021. – Т. 1. – № 1 (13). – С. 233–236.
18. Объективные основы бурения горизонтальных и разветвленно-горизонтальных скважин / Г.Г. Гилаев [и др.] // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 304–307.

19. О причинах появления межколонного давления в нефтегазовых скважинах / А.Т. Кошелев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 7. – С. 16–20.

20. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т., Фоку Ж. Термоволновые методы повышения нефтеотдачи пластов // Освоение и добыча трудноизвлекаемых и высоковязких нефтей : 4-я Международная конференция. – 2004. – С. 18–21.

21. Гилаев Г.Г., Останков Н.А., Козлов С.А., Пашкевич К.Л., Ртищев А.В., Григорян Л.Г., Игнатенков Ю.И. Способ снижения образования вторичного сероводорода при подготовке нефти и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2666543 С1, 11.09.2018. Заявка № 2017119383 от 01.06.2017.

22. Моделирование жидкостных потоков в центробежном сепараторе / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 349–354.

23. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Бахтизин Р.Н. Совершенствование инфраструктуры нефтегазодобычи, как эффективный инструмент поддержания базовой добычи нефти и газа // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКР. – 2021. – № S2. – С. 121–130.

УДК 622. 276.6

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ
НА ОСНОВЕ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ЗАВОДНЕНИЯ****Гиляев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Кондрашов
Александр
Владимирович****Кубанский государственный технологический университет**
студент по направлению магистратуры
«Управление разработкой нефтегазовых месторождений»
kondaroshov@bk.ru**Ульянов
Сергей Сергеевич****УДНГ АО «Самарнефтегаз»**
начальник

Аннотация. С переходом к активной разработке залежей с низкопроницаемыми, глинизированными, недонасыщенными по нефти коллекторами, такими как залежи в юрских и ачимовских отложениях Западной Сибири, роль повышения темпов добычи нефти в целях достижения рентабельности проектов существенно возросла. При внедрении методов повышения нефтеотдачи речь заходит, как правило о методах которые вводятся после начала эксплуатации скважины. Данный метод немного отличается от традиционных тем, что добывающие скважины вводятся за некоторое время до начала эксплуатации.

Добывающие скважины в недонасыщенных пластах с применением новых технологий заканчивания характеризуются сложной динамикой обводнения, преждевременным появлением воды в продукции, что сложно контролировать, прогнозировать и воспроизводить при гидродинамическом моделировании на основе традиционных представлений об этих процессах. Неоднородность распространения свойств коллектора приводит к неравномерной выработке пласта в ухудшенных зонах, поэтому для вовлечения в выработку и активизации запасов зон коллектора с ухудшенными свойствами требуется обоснование новых технологических решений. Таким образом, дальнейшее совершенствование систем заводнения для разработки низкопроницаемых пластов с применением современных типов добывающих и нагнетательных скважин и исследование сопутствующих пластовых процессов является актуальной задачей.

Ключевые слова: заводнение, опережающее заводнение, пористая среда, скважина.

Целесообразная продолжительность отработки нагнетательных скважин редко подлжет специальному исследованию и обычно определяется совокупностью организационных факторов и результатами наблюдения за дебитами скважин по конкретному или аналогичным объектам разработки. В отдельных работах задержку ввода нагнетательных скважин под закачку предлагают обосновывать на базе упрощённых технико-экономических расчетов. В соответствующих случаях поддержание пластового давления закачкой воды следует начинать одновременно с добычей нефти. То есть заводнение в каждом элементе пласта должно начинаться при вводе его в разработку. Применительно к низкопроницаемым залежам нефти с высоким газосодержанием обоснована наиболее привлекательная, с точки зрения технологических и технико-экономических показателей, стратегия ввода нагнетательных скважин под закачку. Такой стратегией является опережающее заводнение, при котором закачка воды в очередном элементе разработки начинается с опережением по отношению к добыче нефти. Оптимальный период предварительной закачки воды зависит от параметров объекта и системы разработки и обычно ис-

числяется несколькими месяцами. В качестве основных причин целесообразности реализации опережающего заводнения выделяют:

- медленную передачу воздействия от нагнетательных к добывающим скважинам в условиях низкопроницаемого коллектора;
- преимущественную эксплуатацию добывающих скважин при забойных давлениях ниже давления насыщения нефти для обеспечения рентабельной продуктивности;
- быстрый рост зоны разгазирования пластовой нефти, вызванный интенсивными фазовыми переходами при снижении давления ниже давления насыщения, при недостаточно эффективной передаче давления от зоны нагнетания к зоне отбора;
- как следствие действия перечисленных факторов – резкое снижение дебита по нефти и кратный рост содержания газа в добываемой продукции при традиционной схеме ввода нагнетательных скважин под закачку. Опережающее заводнение в таких условиях позволяет повысить начальные и текущие дебиты добывающих скважин, обеспечить более высокие накопленные показатели добычи нефти уже к концу первых 0,5–1 года разработки и сократить требования к пиковой пропускной способности системы сбора и утилизации добываемого газа.

Целесообразность реализации опережающего заводнения также применительна к низкопроницаемым залежам, на примере юрских отложений Западной Сибири, при эксплуатации скважин с забойными давлениями выше давления насыщения, то есть, в отсутствие фазовых переходов. Известно, что условие компенсации пластовых объемов добываемого флюида закачиваемыми объемами воды обеспечивает постоянство пластового давления. Как следствие, сохраняются относительно стабильные дебиты добывающих скважин по нефти, а по мере их обводнения – по жидкости. Однако при заводнении низкопроницаемых коллекторов данное условие часто не выполняется по следующим причинам:

- недостаточно эффективная передача воздействия от зоны нагнетания к зоне отбора приводит к снижению пластового давления в области дренирования, даже при формальном соблюдении условия компенсации;

- ситуация усугубляется применением для разработки низкопроницаемых пластов интенсивных систем добычи нефти на основе скважин с трещинами ГРП значительной протяженности, горизонтальных скважин с многозонными ГРП (несколько трещин из разных точек ствола) и т.д. Стремление недропользователей к экономии капитальных вложений обычно отражается на нагнетательных скважинах, которые при этом характеризуются менее интенсивным заканчиванием. Практически всегда они выполняются только в варианте вертикальных и наклонно-направленных, часто без создания закрепляемых трещин ГРП. Соотношение добывающих и нагнетательных скважин также чаще всего выбирается на уровне, значительно превышающем 1 : 1. Кроме того, низкопроницаемые западносибирские отложения характеризуются низкими значениями фазовой проницаемости для нагнетаемой воды, снижением приемистости вследствие разбухания глинистых минералов коллектора и т.д.

Существует необходимость адекватной, по отношению к добыче, интенсивности системы ППД при площадном заводнении. В частности, из этого следует, что в большинстве случаев на одну добывающую скважину должна приходиться одна нагнетательная скважина с тем же типом заканчивания. Таким образом, именно для низкопроницаемых коллекторов заводнение часто реализуется в условиях недостаточно эффективного поддержания пластового давления.

Скважины эксплуатируются с заданными забойными давлениями. Профили давления на рисунке 1 приведены на 3 даты – дату ввода элемента разработки, через 2 месяца и через 3 года. Здесь добывающие и нагнетательные скважины вводятся одновременно. Видно, во-первых, что негативная ситуация с ППД быстро себя проявляет после ввода скважин в эксплуатацию. Здесь, при сохранении иных параметров, сопоставлены динамики изменения дебита добывающей скважины по жидкости в площадном элементе разработки при одновременном вводе добывающих и нагнетательных скважин. При этом добывающая скважина характеризуется горизонтальным заканчиванием с ГРП. Расчеты выполнены для типичного по неоднородности пласта со средними проницаемостями 50, 25 и 5 мД. Добывающая скважина эксплуатируется при постоянном забойном давлении.

Эти результаты подтверждают выводы, что при площадной системе заводнения стабилизированный уровень добычи определяется не потенциальной продуктивностью скважин, а возможностями системы ППД. Отсюда видна актуальность проблемы повышения эффективности ППД для низкопроницаемых пластов, что обуславливает необходимость пересмотра подходов к формированию систем ППД в таких залежах с учетом важных принципов. Вместе с тем, даже в рамках далеких от оптимальных систем разработки возможно некоторое повышение эффективности ППД без существенного роста затрат на его подготовку и реализацию.

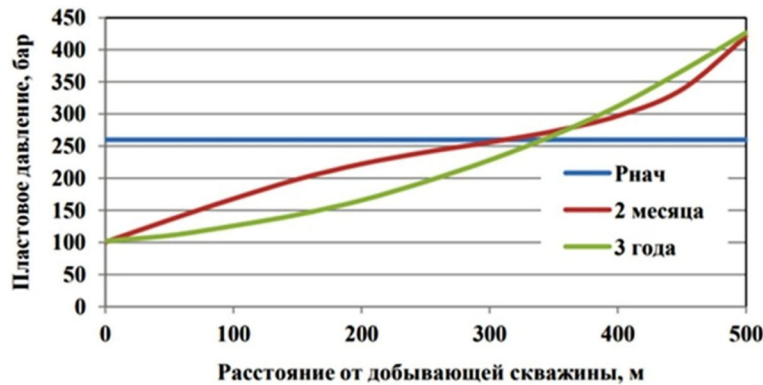


Рисунок 1 – Профили пластового давления на 3 даты для системы заводнения низкопроницаемого пласта при расстоянии между скважинами 500 м

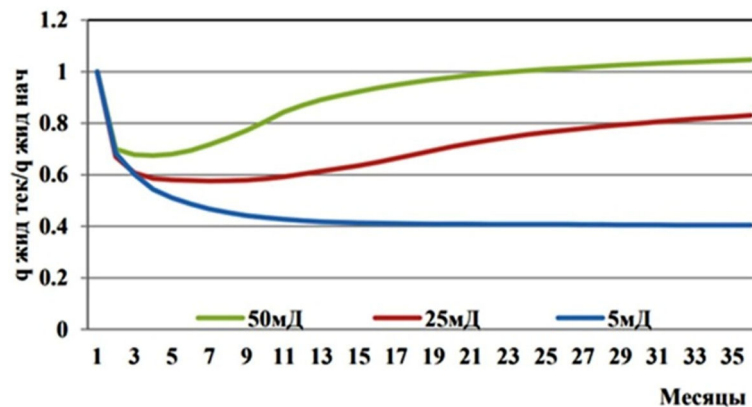


Рисунок 2 – Динамики дебита добывающей скважины по жидкости для пластов различной проницаемости

В связи с проблемой повышения эффективности ППД в низкопроницаемых пластах при интенсивных системах разработки оценена результативность реализации опережающего заводнения, как низкозатратной (без дополнительных капитальных вложений) меры.

Реализуемая схема размещения скважин на участке сформирована на основе классической 9-точечной схемы, в которой две добывающие наклонно-направленные скважины (ННС) заменены одной горизонтальной скважиной (ГС) со сдвигом. Расстояние между рядами и между ННС – по 500 м. Длина горизонтального участка скважин – 500 м. Траектория ГС в пределах продуктивного пласта – пологопадающая от кровли до подошвы. Все скважины стимулированы трещинами ГРП с полудлиной около 100 м, причем по длине ГС сформировано 4 поперечные трещины в разных точках ствола.

Вариант опережающего заводнения (ОЗ, вариант 1) предполагает ввод нагнетательных скважин на квартал ранее ввода добывающих скважин в элементе разработки. Исследуемые для сопоставления альтернативные варианты 2 и 3 соответствуют одновременному началу добычи и закачки в элементе (СЗ) и началу закачки после трехмесячной отработки нагнетательных скважин (ЗЗ). С целью сопоставимости по срокам и объемам капитальных затрат, варианты формируются следующим образом. Во всех вариантах в начальный момент времени вводится одинаковое количество скважин, равное числу нагнетательных скважин на участке (9 НС, с учетом симметрии

элемента разработки). Для варианта ОЗ вводимые скважины – нагнетательные, и они с самого начала и до конца расчета осуществляют закачку воды. В варианте СЗ вводимые скважины тоже нагнетательные, но они 3 месяца находятся в отработке на нефть. В варианте ЗЗ вводимые скважины – добывающие.

Для вариантов ОЗ и СЗ все новые скважины – добывающие. Одновременно в варианте СЗ прежние (нагнетательные) скважины переводятся под закачку воды. В варианте ЗЗ новые скважины включают остальные добывающие и нагнетательные, причем нагнетательные вводятся на 3 месяца в отработку на нефть, и только затем переводятся под закачку воды. В дополнение к описанным, для оценки влияния периода предварительной закачки воды рассчитаны варианты 4 (ОЗ) и 5 (СЗ). Они аналогичны вариантам 1 и 2 с той разницей, что период с начала расчета до ввода добывающих скважин составляет не 3, а 6 месяцев. Очевиден положительный эффект упреждающей закачки воды на начальную динамику дебитов добывающих скважин. Так, средний входной дебит по нефти (в целом по ННС и ГС с ГРП) составляет при реализации ОЗ в течение 3 месяцев – 153 т/сут, в течение 6 месяцев – 173 т/сут. При этом в вариантах СЗ и ЗЗ он изменяется в пределах 92–119 т/сут. Это является результатом накопления запаса упругой энергии за счет ОЗ, обеспечивающего высокие уровни пластового давления в зоне отбора и, соответственно, повышенные депрессии в начальный период добычи нефти. В зависимости от длительности периода ОЗ, истощение этого запаса происходит в течение 1,5–2 лет. За пределами этого периода динамики дебитов по всем вариантам выравниваются и стабилизируются на уровнях, соответствующих возможностям имеющейся системы ППД с точки зрения степени компенсации отборов жидкости. Двухгорбые динамики дебита нефти по вариантам СЗ и ЗЗ определяются фактором постепенного ввода скважин в добычу нефти (добывающих и отработываемых нагнетательных). Вместе с тем, интересна кривая на рисунке 3. для варианта 3. А именно, большое запоздание с началом закачки воды приводит к наибольшему падению дебитов скважин – ниже уровня возможностей системы ППД. В дальнейшем закачка воды начинает давать эффект, и имеет место некоторый рост дебитов до единого, для всех вариантов, уровня.

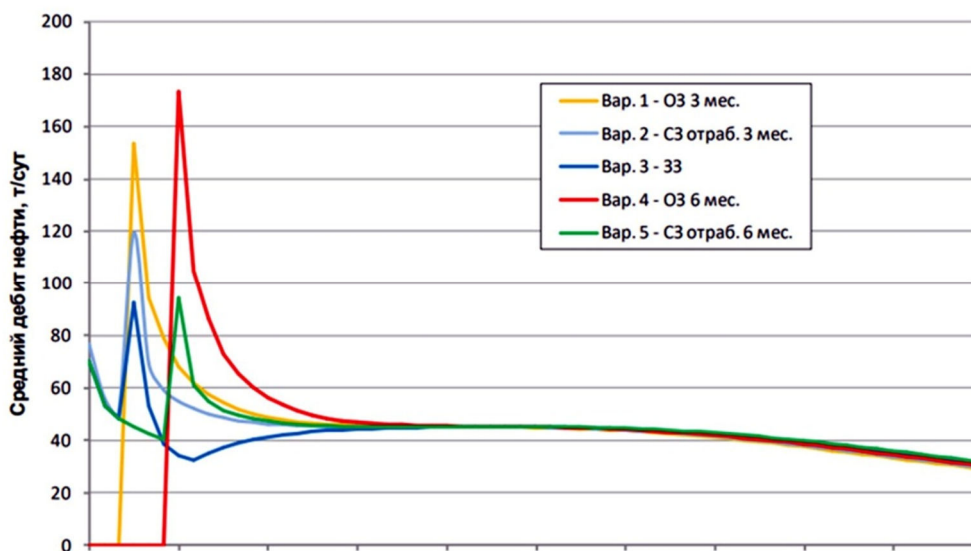


Рисунок 3 – Динамики среднего дебита скважин по нефти (в зависимости от времени) для пяти вариантов

Аналогичным образом прирост накопленной добычи нефти за период 1,5 года с ввода первых скважин при реализации варианта 4 (ОЗ в течение 6 месяцев) составляет 29,7 тыс. т, или 6,8 % по сравнению с аналогичным вариантом 5 (СЗ с отработкой 6 месяцев). В то же время, для рассматриваемых параметров участка предпочтительной является продолжительность ОЗ 3 месяца – вариант 1. Именно вариант 1 демонстрирует наилучшую динамику накопленной добычи нефти среди всех рассмотренных вариантов. Таким образом, подтверждается вывод о необходимости обоснования оптимального периода упреждающей закачки воды по результатам 3D моделирования и специализированных промысловых испытаний. Графики дополнительно демонстрируют, что упрежда-

ющая закачка воды не оказывает негативного влияния на динамику обводнения скважин за весь период разработки. Хотя отдельные варианты, в определенный период времени, немного отличаются друг от друга по текущей величине обводненности – в пределах 5 %. Тем не менее, не просматривается однозначная связь с более ранним началом заводнения. Объяснение этой особенности связано с отсутствием зоны пониженного давления вблизи добывающих скважин в период ОЗ. Как следствие, закачиваемая вода более равномерно перераспределяется по пласту, и не создаются условия для более ускоренного ее поступления в добывающие скважины.

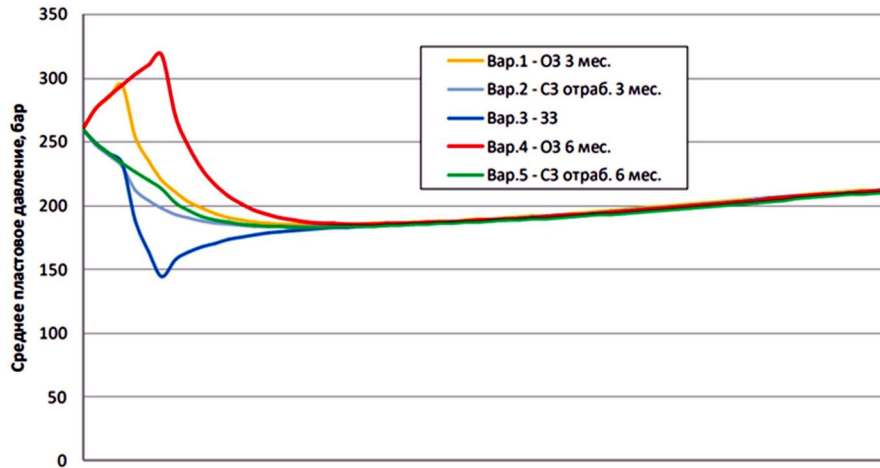


Рисунок 4 – Динамики среднего пластового давления по участку для пяти вариантов

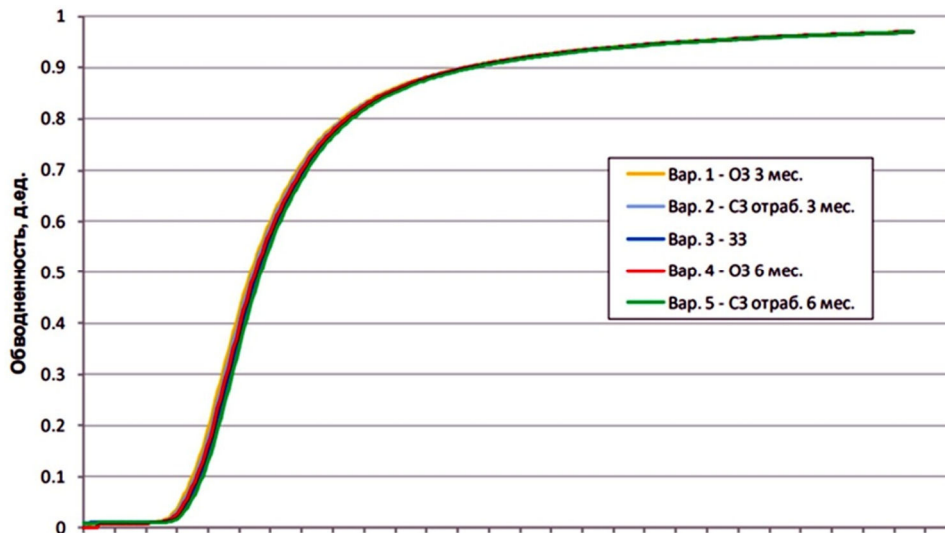


Рисунок 5 – Динамики обводненности продукции для пяти вариантов

Реализуемые на многих месторождениях Западной Сибири интенсивные площадные системы разработки низкопроницаемых юрских отложений далеки от реализации своего потенциала вследствие недостаточной эффективности системы ППД. В таких условиях средне- и долгосрочная динамика дебитов добывающих скважин, особенно скважин с горизонтальным окончанием и/или ГРП, определяется не их продуктивностью, а возможностями компенсации нагнетательными скважинами отбираемых из пласта объемов флюидов. Для типичных условий и систем разработки низкопроницаемых юрских залежей Западной Сибири опережающее заводнение является низкзатратным и эффективным способом краткосрочного улучшения технико-экономических показателей проекта без ухудшения долгосрочной динамики разработки. В отличие от предшествующих исследований, полученные результаты показывают целесообразность реализации опережающего заводнения не только для залежей нефти с высоким газосодержанием, но и для более общего класса низкопроницаемых залежей.

Таким образом наиболее привлекательным вариантом является вариант с ОЗ 3 мес. Накопленная добыча за 5 лет составила 1 480 000 тонн, что на 85 тыс. тонн больше, по сравнению с базовым вариантом (1 395 000 тонн).

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для заправки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гилаев Г.Г., Ольховская В.А., Гилаев Г.Г., Хафизов В.М. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близиуков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. Наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескопроявлений горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

УДК 622.276.6

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕНОКИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ
ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА****Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Крамаренко
Антон Павлович****Кубанский государственный технологический университет**
студент по направлению магистратуры
«Управление разработкой нефтегазовых месторождений»**Молканова
Елена Николаевна**«НПО «Бурение»
работник

Аннотация. В статье рассматривается применение технологий обработки призабойной зоны пласта. Рассматривается экзотермическая пенокислотная обработка, а также целесообразность использования технологии.

Ключевые слова: призабойная зона, интенсификация, проницаемость, скважина.

Введение. Производительность нефтяных и газовых скважин и поглощающая способность нагнетательных зависят главным образом от проницаемости пород, складывающих продуктивный пласт. Чем выше проницаемость пород в зоне действия той или иной скважины, тем больше ее производительность или приемистость, и наоборот.

Проницаемость пород одного и того же пласта может резко изменяться в различных его зонах или участках. Иногда при общей хорошей проницаемости пород пласта отдельные скважины вскрывают зоны с пониженной проницаемостью, в результате чего ухудшается приток нефти и газа к ним. Естественная проницаемость пород под влиянием тех или иных причин также может с течением времени ухудшаться. Так, при закачивании скважин бурением призабойные зоны их часто загрязняются отфильтрованным глинистым раствором, что приводит к закупорке пор пласта и снижению естественной пород.

При эксплуатации нефтяных и газовых скважин проницаемость пород в призабойной зоне может резко ухудшиться из-за закупорки пор парафинистыми и смолистыми отложениями, а также глинистыми частицами. Призабойная зона нагнетательных скважин загрязняется различными механическими примесями, имеющимися в закачиваемой воде (ил, глина, окислы железа и др.).

Проницаемость пород призабойной зоны скважин улучшают путем искусственного увеличения числа и размеров дренажных каналов, увеличения трещиноватости пород, а также путем удаления парафина, смол и грязи, осевших на стенках поровых каналов.

Выбор метода воздействия на призабойную зону скважин определяется пластовыми условиями. Химические методы воздействия дают хорошие результаты в слабопроницаемых карбонатных породах. Их успешно применяют также в цементированных песчаниках, в состав которых входят карбонатные включения и карбонатные цементирующие вещества.

Пенокислотная обработка предназначена для углубления обработки кислотой и расширения профиля проницаемости пласта по сравнению с обычной кислотной обработкой. В результате увеличивается толщина пласта, который редуцирует нефть, возрастает эффективность процесса.

Пенокислотные обработки применяют для воздействия на продуктивные пласты, сложенные карбонатными породами, также на песчаники с высоким содержанием карбонатного цемента.

Методология. Одной из наиболее актуальных задач нефтяной промышленности является разработка и внедрение новых перспективных методов интенсификации процессов нефтегазодобычи на поздней стадии разработки нефтяных и газовых месторождений. Перспективным направлением в таких случаях является использование технологии воздействия на ПЗП скважины химическими пенными составами.

Основной задачей проектной работы является в дальнейшем проведение опытно-промышленных работ и дальнейшее внедрение технологии воздействия на ПЗП скважины химическими пенными составами.

В связи с низкой эффективностью обработки призабойной зоны пластов (ОПЗ) на поздней стадии разработки нефтяных месторождений, характеризующихся высокой обводненностью продукции, каждая технология ОПЗ должна быть тщательно обоснована с учётом геолого-технических характеристики скважины. Перспективным направлением в таких случаях является использование технологии воздействия на ПЗП скважины химическими пенными составами.

Составы химической пены, сгруппировав положительные стороны всех предыдущих разработок, представляют композицию многофункционального назначения на основе недорогостоящих и доступных химических реагентов.

Составы химических пен предназначены для интенсификации процессов добычи нефти и газа, а также могут быть использованы для повышения нефтеотдачи пластов. Разработанные составы позволяют комплексно разрешить за один технологический цикл несколько процессов интенсификации нефтегазодобычи, таких как:

- пеноглинокислотную обработку ПЗП;
- пено-, полимерно-кислотную обработку ПЗП;
- тепло-химическое воздействие на ПЗП;
- промывку и очистку забоя скважины после проведения ГРП;
- вызов притока жидкости из пласта, за счет замены столба скважиной жидкости на пену;
- ограничение водопритока к скважине и выравнивание профилей приёмистости.

Химическая пена селективно изолирует только приток воды, а нефтепроницаемость остается при этом постоянной или увеличивается (рис. 1). Она способствует лучшему удалению смоло-парафиновых веществ из пористой ячейки, предотвращает их выпадение, ускоряет вовлечение в разработку слабо дренируемые участки нефтенасыщенного коллектора. Так же пенная обработка скважины способствует увеличению дебита скважины при наименьшем отборе попутно-добываемых вод, диспергирует и создаёт фильтрационное сопротивление для выноса твердых частиц из пласта, предотвращает разрушение призабойной зоны пласта.

	ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ОПЗ	ПРИМЕНЕНИЕ БЭПКО
Работа с реагентом	Реагент приготавливается на поверхности, в результате смешивания химических компонентов	Компоненты поочередно заачиваются в скважину
Процесс химической реакции	Химическая реакция происходит непосредственно вблизи рабочей группы людей	Химическая реакция происходит непосредственно в пласте
Возникновение опасности	Вдыхание вредных паров, образующихся при химической реакции, может вызвать острое отравление	Сотрудники избегают воздействия вредных паров при приготовлении рабочего реагента на поверхности

СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАБОЧИЙ СОСТАВ,
ЗА СЧЕТ СОКРАЩЕНИЯ ПРЯМОЙ РАБОТЫ С ХИМИЧЕСКИМИ
РЕАГЕНТАМИ

Рисунок 1 – Сравнение БЭПКО с стандартными ОПЗ

Самыми распространенными реагентами для обработки призабойной зоны являлись соляно-кислотные и глино-кислотные реагенты, но из-за определенных ограничений химического состава, данные реагенты применяются только на определенную группу пластов, оставляя другие пласты необработанными. ООО «Нефтетранссервис» был разработан газовыделяющий и пенообразующий состав многофункционального назначения на основе относительно недорогих и доступных химических реагентов (химическая пена). Компоненты состава являются продуктами крупнотоннажного производства, широко используются в нефтедобыче и допущены санитарными органами к применению для интенсификации процессов добычи нефти и газа.

Бинарная экзотермическая пенная кислотная обработка (БЭПКО) самостоятельная обработка призабойной зоны скважины карбонатных и терригенных пластов солянокислотной пенной системой (пенное ОПЗ) с селективным распределением потоков кислоты в низкопроницаемые закольматированные участки пласта и дополнительным термическим эффектом. Селективное отклонение достигается путём разрушения пены и высвобождения кислоты преимущественно в нефтенасыщенной низкопроницаемой части коллектора (нефть является природным пеногасителем) и поверхностным газонасыщением («запечатыванием» газожидкостной фазой) высокопроницаемых водонасыщенных участков коллектора.

Сущность технологии состоит в газировании жидкости азотом и углекислым газом, образующиеся при взаимодействии исходных компонентов состава, и создании пены на забое скважины или в продуктивной зоне пласта. Предлагаемая технология основана на том, что пена генерируется непосредственно в самом пласте в результате катализируемых химических реакций газовыделения инертного азота, а компоненты для осуществления химических процессов доставляются в необходимое место скважины в виде отдельных растворов.



Рисунок 2 – Процесс воздействия пены на ПЗП

Данная технология заключается в поочередной закачке двух компонентов:

- пеногенерирующий состав ОПС-1: газо-пеногенерирующий солевой состав ОПС-1 представляет собой смесь азотгенерирующих реагентов с поверхностно-активными веществами (ПАВ), и декольматирующих реагентов;
- кислотный состав.

При смешивании компонентов (за счет реакции диазотирования) происходит выделение большого количества тепла и молекулярного азота.

Преимущества закачки данного состава:

- Отсутствует необходимость доставки на месторождение специализированного оборудования и техники (азотных агрегатов, эжекторов, УНГ, СДА, бустеров и другой спецтехники), что снижает стоимость обработки.
- Технология получения химической пены исключает использование газовых компрессоров, пена индуцируется в процессе химических реакций. Рассмотрев оборуду-

дование, которое необходимо для закачки пены в пласт. можно сделать вывод, что стоимость самого технологического процесса будет невысоким.

- Более глубокое проникновение в пласт за счет использования газожидкостной смеси, одновременное химическое и тепловое воздействие на ПЗП (не менее 1,5 ГДж тепла).

- Замедлению скорости нейтрализации кислоты породой, приводящем к удлинению пути движения кислоты в активном состоянии. Кислотные пены также способствуют увеличению охвата пласта воздействием кислоты, так как имеют низкую плотность ($400 - 800 \text{ кг/м}^3$), повышенную вязкость и прочность.

- Эффективная очистка закольматированной зоны от шлама и продуктов реакции кислоты с породой (при освоении скважины после проведения кислотной обработки в результате снижения давления в призабойной зоне и расширения пузырьков газа полностью очищаются поровые каналы и пути фильтрации нефти или газа от продуктов реакции кислоты с породой пласта).

Кислотной пеной можно обрабатывать продуктивные пласты, сложенные не только карбонатными породами, но и песчаниками с высоким содержанием карбонатного цемента. Применение кислотных пен имеет ряд преимуществ по сравнению с обычной кислотной обработкой.

Пеннокислотная обработка позволяет увеличить глубину проникновения активной кислоты в пласт, так как замедляется растворение карбонатного материала в кислотной пене. При освоении скважины за счет снижения поверхностного натяжения на границе раздела нефть-нейтрализованный кислотный раствор и за счет расширения пузырьков воздуха в призабойной зоне происходит более полная очистка поровых каналов от продуктов реакции кислоты с породой пласта.

Применение кислотных пен имеет следующие преимущества перед обычной кислотной обработкой:

- замедляется растворение карбонатного материала в кислотной пене, что способствует более глубокому проникновению активной кислоты в пласт; в результате этого приобщаются к дренированию;

- малая плотность кислотных пен ($400 - 800 \text{ кг/м}^3$) и их повышенная вязкость позволяют существенно увеличить охват воздействием кислоты всей вскрытой продуктивной мощности пласта; это как бы включает в себя преимущества, достигаемые при поинтервальных кислотных обработках, что особенно важно при больших продуктивных мощностях пласта и пониженных пластовых давлениях;

- улучшаются условия очистки призабойной зоны пласта от продуктов реакции: присутствие поверхностно-активных веществ снижает поверхностное натяжение как активной, так и отреагировавшей кислоты на границе с нефтью, а наличие сжатого воздуха в отреагировавшем растворе, расширяющегося во много раз при освоении скважин (при снижении забойного давления), улучшает условия и качество освоения.

Основное отличие от стандартных ОПЗ: генерация пены (газов N_2 (90 %) и CO_2 (10 %)) происходит непосредственно в забое скважины химическим способом путем смешивания в стволе пенообразующего агента с кислотой во время закачки с одновременным термическим эффектом в призабойной зоне до $+140 \text{ }^\circ\text{C}$.

Преимущества БЭПКО перед стандартными технологиями ОПЗ:

- селективное отклонение кислотной оторочки по проницаемости и насыщенности за счет использования генерирующейся газожидкостной смеси;

- одновременное тепловое воздействие на ПЗС – не менее 1,5 ГДж тепла (разогрев ПЗС до $+140 \text{ }^\circ\text{C}$) с эффектом растворения в нефти АСПО и увеличением подвижности пластовой нефти;

- объем генерируемых инертных газов составляет от $700 \text{ м}^3/\text{скв}$;

- облегченные извлечение продуктов реакции и вывод скважины на режим в результате растворения газа в нефти и применения ПАВ.

Вывод: пеннокислотные обработки призабойной зоны пласта в прошедший период разработки показывают достаточную эффективность при поддержании дебитов нефти добывающих скважин. Метод пеннокислотной обработки может быть использован для интенсификации добычи на перспективу.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ морт-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. редактор С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

УДК 622.276.6:534.18

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ПЛАСТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ГАССМАНА

Гнеуш В.С.

Кубанский государственный технологический университет

Гиладев Г.Г.

Кубанский государственный технологический университет
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com

Даценко Е.Н.

Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Представлены результаты оценки воздействия акустических волн на вертикальную цилиндрическую скважину с учетом упругих параметров Анастасиево-Троицкого месторождения. На основе модели Гассмана получены частотные зависимости коэффициента проницаемости, вязкости нефти и дебита скважины, подтверждающие эффективность метода.

Ключевые слова: скважина, нефтеотдача, акустическое воздействие, насыщенная пористая среда, обобщенные модули.

Введение. На сегодняшний день существующие способы добычи нефти не позволяют получить высокую нефтеотдачу пластов. Более 50 % природных запасов нефти остаются не извлекаемыми. Это особенно касается трещиноватых коллекторов и пластов с высоковязкой нефтью. Поэтому разработка методов внешних воздействий на продуктивный пласт с целью повышения нефтеотдачи и увеличения темпов нефтедобычи является актуальной задачей. Одним из перспективных методов повышения продуктивности скважин является облучение призабойной области ультразвуковым источником.

Методология. Большая часть нефти после первичного и вторичного извлечения остается из-за геологических и физических факторов. Тем не менее, для любого пласта не существует универсального метода повышения нефтеотдачи. В настоящей работе рассмотрено воздействие упругих волн на призабойную зону пласта (ПЗП) Анастасиево-Троицкого месторождения [1] с учетом эффективных упругих модулей насыщенного флюидом пористого материала K , G , зависящих от упругих модулей минерального вещества, слагающего скелет, упругих модулей флюида и эффективных модулей каркаса ненасыщенной породы. Основу расчетной модели составляли уравнения Гассмана [2].

Обсуждения. Оценка изменения амплитуды при распространении акустических волн в цилиндрической вертикальной скважине проводилась по формуле, учитывающей зависимость скорости распространения продольных волн и затухания от K , G , ρ и частоты колебаний f :

$$P_{ак}(r) = P_0 \sqrt{\frac{r}{r_c}} e^{-\frac{\pi f}{15} \left(\frac{\rho}{K + \frac{4}{3}G} \right)^{1/2}},$$

где P_0 – начальное значение акустического давления; r_c – радиус обсадной колонны.

Зная, как изменяется акустическое давление, можно определить зависимость проницаемости и производительности данного месторождения от частоты и расстояния с учетом пороупругих характеристик скелета по следующей формуле:

$$k_{\text{ак}} = 1 + 0.7 \left(\frac{P_0 \cdot \sqrt{\frac{r}{r_c}} \cdot e^{-\frac{\pi}{15} \cdot \frac{f}{\sqrt{\frac{K+\frac{4}{3}G}{\rho}}}}}{0.05 \cdot \frac{p_k - p_c}{r \cdot \ln\left(\frac{R_k}{r_c}\right)}} \right)^{1.7},$$

где K, G, ρ – эффективные упругие модули насыщенного материала; f – частота колебаний.

Как видно из графика проницаемость насыщенной пористой среды при прямом воздействии упругих колебаний значительно возрастает в несколько раз и быстро идет на спад при увеличении расстояния от акустического излучателя, приближаясь к первоначальному значению. На рисунке 1 видно, что при разных значениях частот наблюдаются максимумы, что свидетельствует о явлении резонанса. С чем связано данное явление сказать сложно, поскольку пористая структура устроена сложным образом. Исходя из графика можно сказать о том, что самой эффективной частотой для увеличения проницаемости пласта является значение 10 Гц, так как на данной частоте расстояние действия акустического излучателя увеличивается в несколько тысяч метров, что дает более продуктивный результат для беспрепятственной миграции нефти в пласте и ее интенсификации.

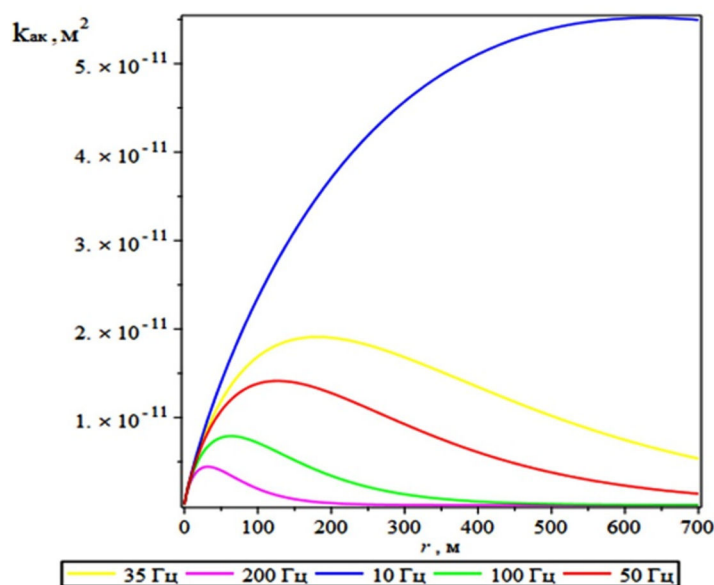


Рисунок 1 – Зависимость коэффициент проницаемость от расстояния

Зависимость динамической вязкости от частоты и расстояния с учетом уравнений акустического давления и проницаемости, зависящих от аргументов r и f , имеет вид:

$$\mu = \mu_0 (0.80498 - 0.013468 \cdot \ln(P_0 \cdot \sqrt{\frac{r}{r_c}} \cdot e^{-\frac{\pi}{15} \cdot \frac{f}{\sqrt{\frac{K+\frac{4}{3}G}{\rho}}}} + 5.147 \cdot 10^{-7})),$$

где μ_0 – начальная вязкость нефти.

График зависимости динамической вязкости от частоты и расстояния с учетом пороупругих параметров насыщенной пористой среды представлен на рисунке 2 и 3.

Как видно из графика вязкость нефти при прямом акустическом излучении значительно уменьшается и остается на таком же уровне при малых частотах. Но при удалении от скважины на несколько сотен метров показатель вязкости принимает свое изначальное значение, которое было, до волнового воздействия. Поэтому для повы-

шения показателя текучести и уменьшения коэффициента вязкости требуются низкочастотные акустические излучатели.

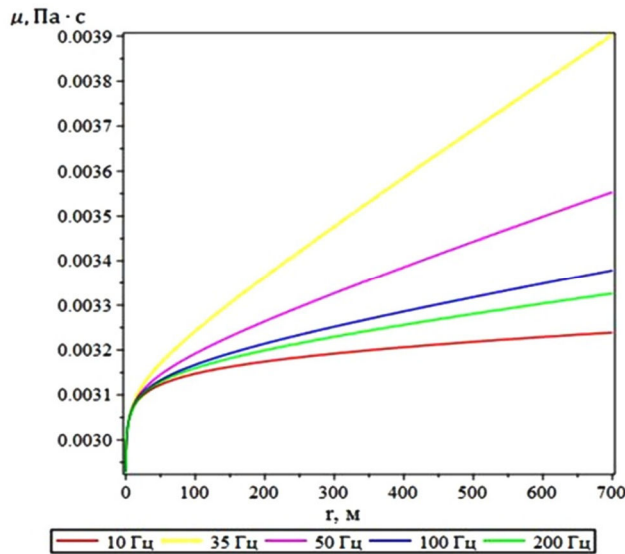


Рисунок 2 – График зависимости вязкости от частоты

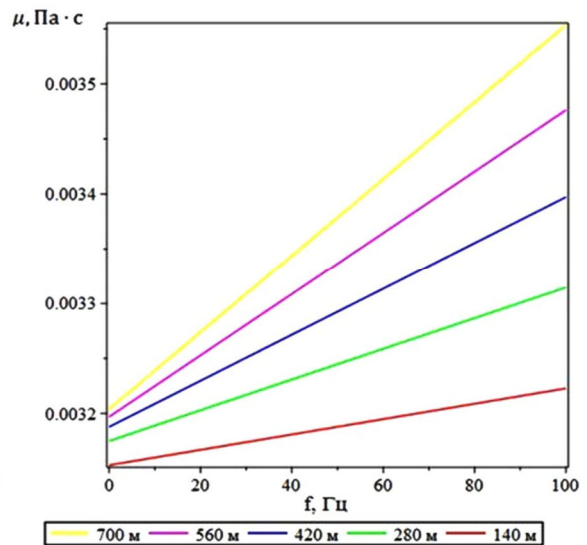


Рисунок 3 – График зависимости вязкости от частоты

С учетом уравнений проницаемости при акустическом воздействии и уравнения динамической вязкости при акустическом воздействии, получена следующая формула для дебита рассматриваемой скважины:

$$Q \cdot \int_r^R \frac{\left(0.80498 - 0.013468 \cdot \ln \left(P_0 \cdot \sqrt{\frac{r}{r_c}} \cdot e^{-\frac{\pi}{15} \cdot \frac{f}{\sqrt{\frac{K+\frac{4}{3}G}{\rho}} + 5.147 \cdot 10^{-7}}}} \right) \right)^{1.7}}{\left(1 + 0.7 \cdot \frac{\left(P_0 \cdot \sqrt{\frac{r}{r_c}} \cdot e^{-\frac{\pi}{15} \cdot \frac{f}{\sqrt{\frac{K+\frac{4}{3}G}{\rho}} + 5.147 \cdot 10^{-7}}}} \right)^{1.7}}{0.05 \cdot \frac{p_k - p_c}{r \cdot \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)}} \right)} \frac{dr}{r} = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot \int_{p_c}^{p_k} dP.$$

Однако дебит скважины значительно увеличивается при инфразвуковом воздействии как показано на рисунке 4. Как мы можем видеть из графика, начальный дебит скважины значительно повысился с учетом акустического облучения пласта. В интервале частот от 10 до 300 Гц дебит скважины изменялся на несколько единиц, затем начиная с 300 до 1000 Гц началось снижение дебита скважины по экспоненте. Относительный прирост производительности скважины после акустического воздействия увеличился на 76 процентов, что подтверждает эффективность метода.

Выводы

Результат по исследованию течения нефти в насыщенной пористой среде при волновых воздействиях на примере Анастасиево-Троицкого месторождения были получены следующие результаты:

1. Установлена зависимость акустического давления от частоты и пройденного волной расстояния в насыщенной пористой среде. Результаты показывают, что акустическое давление при низких частотах медленнее идет на спад при удалении от скважины, чем на высоких частотах. Для более удаленного воздействия на продуктивный пласт порядка нескольких сотен метров требуются низкочастотные излучатели нескольких десятков герц.

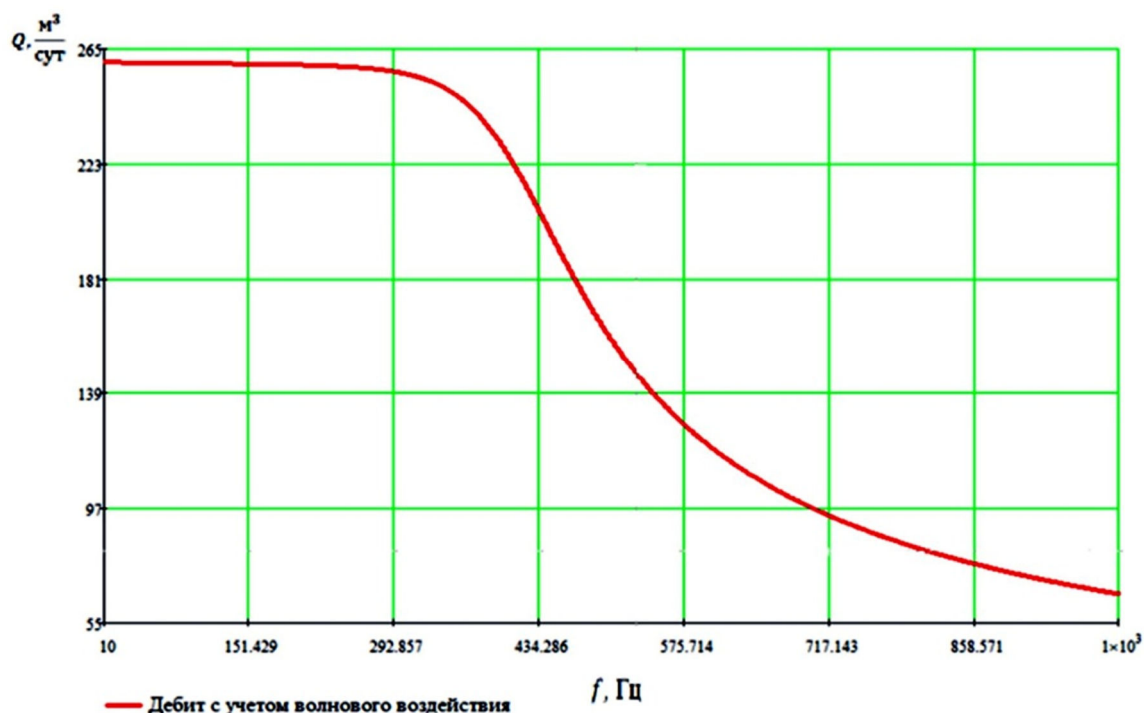


Рисунок 4 – Зависимость дебита скважины от частоты

2. Получена зависимость проницаемости пласта и вязкости нефти от частоты и расстояния с учетом пороупругих параметров среды. При удалении от скважины проницаемость пласта значительно падает. Вязкость нефти же при удалении от скважины возрастает и принимает свое первоначальное значение. Изменения этих параметров зависят от частоты и расстояния.

3. Определено, что при акустическом воздействии на пласт дебит скважины увеличивается. Причем при воздействии волн различных частот в диапазоне от 10 до 300 Гц показатель дебита скважины остается примерно на одном уровне, но при удалении значений от эффективного диапазона, дебит скважины идет на спад по экспоненте.

4. Относительный прирост дебита вертикальной скважины Анастасиево – Троицкого месторождения составляет в среднем 76 процентов, что подтверждает эффективность метода.

Список литературы:

1. Перепечина Ю.В., Савенок О.В., Демченко А.В. Геологические основы для технико-экономического обоснования коэффициента извлечения нефти Анастасиевско-Троицкого месторождения // Отраслевые научные и прикладные исследования: Науки о земле. – 2019. – № 4. – С. 248–272.
2. Гассманн Ф. Об упругости пористых сред // Четыре природы. Общество. – 1951. – № 96. – С.1–23.
3. Антониади Д.Г., Васильев Н.И., Даценко Е.Н., Орлова И.О., Авакимян Н.Н., Способ управления процессом внутритрубного разделения водонефтяной эмульсии акустическим воздействием // Патент на изобретение RU 2622931 С1, 21.06.2017. Заявка № 2016129899 от 20.07.2016.
4. Повышение эффективности разделения водонефтяной эмульсии акустическим воздействием / Н.И. Васильев [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 2. – С. 47–49.
5. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
6. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.

7. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин // Патент на изобретение RU 2131022 C1, 27.05.1999. Заявка № 98100577/03 от 13.01.1998.
8. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости // Патент на изобретение RU 2241825 C2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
9. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
10. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
11. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близуков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
12. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
13. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
14. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
15. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами // Патент на изобретение RU 2564839 C1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
16. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
17. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескоаний горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
18. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
19. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
20. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
21. Гилаев Г.Г. Способы решения проблемы высокого затрубного давления, создаваемого попутным нефтяным газом, в скважинах, эксплуатирующихся УЭЦН // Ашировские чтения. – 2021. – Т. 1. – № 1 (13). – С. 233–236.
22. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. редактор С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
23. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

УДК 622.276.1

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН
ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ПЛАСТА
ТЕРМОГАЗОХИМИЧЕСКИМИ СОСТАВАМИ**

Звиненко Константин Иванович	АО «РНЦ «Прикладная химия (ГИПХ)» кандидат технических наук, начальник лаборатории
Карташов Юрий Иванович	АО «РНЦ «Прикладная химия (ГИПХ)» кандидат технических наук, заместитель генерального директора по науке (спецхимия)
Гончаров Евгений Владимирович	АО «ВНИМИ» старший научный сотрудник
Даниленко Виталий Никифорович	ЗАО «ГИТАС» директор
Ахтырский Михаил Всеволодович	АО «РНЦ «Прикладная химия (ГИПХ)» кандидат технических наук
Фоменко Василий Владимирович	АО «РНЦ «Прикладная химия (ГИПХ)» кандидат технических наук

Аннотация. Приводятся результаты работы по внедрению технологии термогазохимической обработки призабойной зоны пласта с использованием кристаллизующегося раствора селитры, смеси углеродосодержащего и кислородосодержащего веществ.

Ключевые слова: пласт, скважина, месторождение, жидкое водосодержащее топливо, аммиачная селитра, мочеви́на.

Данная технология предназначена для:

1. Глубокой обработки прискважинной зоны, призабойной зоны продуктивного пласта нефтяных и газовых скважин с целью интенсификации притоков.
2. Обработки забоя, призабойной зоны и удаленной части пласта нагнетательных скважин с целью их освоения или увеличения приемистости и выравнивания профиля приемистости.
3. Обработки скважин всех назначений с целью удаления асфальтеносмолистых и парафиновых отложений.

Ниже приведены результаты работ, проведенных авторами в этой области за период до 2011 года включительно.

Основой технологии термогазохимического воздействия на пласт (ТГХВ) является возбуждение высокого прогрева и усиленного трещинообразования в продуктивном пласте раскаленными газами и высоким давлением, которые образуются в ходе экзотермических реакций окисления тяжелых, вязких нефтей, парафинов, асфальтенов и других кольматирующих веществ в прискважинной зоне и удаленной зоне пласта (на 10–20 м и более от оси скважины) при сгорании специально подобранных топливных материалов в среде также специально подобранных кислородсодержащих веществ – горюче-окислительных составов (ГОС).

В качестве твердых кислородсодержащих веществ положительно зарекомендовали себя соли азотной кислоты – селитры: калиевая селитра – KNO_3 , аммиачная селитра (АС) – NH_4NO_3 , а также соль хлорноватой кислоты – хлорат натрия – $NaClO_3$. Имеются примеры положительного применения также натриевой селитры – $NaNO_3$.

В институте горной механики «ВНИМИ» (г. С.-Петербург) и институте прикладной химии – ГИПХ (г. С.-Петербург) были выполнены теоретические исследования, проведены лабораторно-скважинные испытания по разработке технологических схемы ТГХВ и технических средства для обеспечения прогрева прискважинной зоны пласта (до 6...10 метров от оси скважины) и существенного повышения давления в этой зоне. В состав этих разработок входят технические средства для инициации экзотермических реакций и рецепты теплогенерирующих составов (горюче-окислительных составов – ГОС).

Авторы-разработчики представили технологические принципы и результаты реализации экзотермических реакций в нефтегазодобывающих скважинах. Уникальные сочетания химических реагентов на основе селитр, хлоратов обеспечивают простоту, дешевизну и эффективность технологических операций по интенсификации притоков нефти и газа. Эффективность достигается не только снижением вязкости нефти, удалением парафинов и асфальтенов, но и образованием новых трещин и, тем самым, разгрузкой призабойной зоны от горного давления.

В реальных условиях ограниченного скважинного объема реакция окисления топлива протекает, фактически, при постоянном объеме с увеличением давления и температуры. Поэтому для проведения исследований была собрана опытная установка, позволяющая измерять давление и температуру в камере сгорания при зажигании и сгорании жидких водосодержащих композиций в замкнутом объеме камеры [1]. Принципиальная схема опытной установки показана на рисунке 1. В камеру 1 загружались исследуемые композиции. Максимальное давление в камере (65–80 МПа) ограничивалось разрывной мембраной.

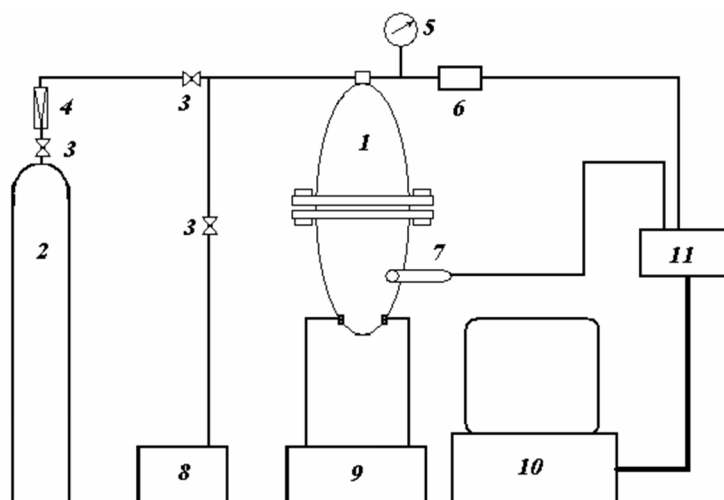


Рисунок 1 – Принципиальная схема опытной установки:

- 1 – камера; 2 – баллон с азотом; 3 – вентиль; 4 – редуктор; 5 – манометр; 6 – преобразователь давления «Сапфир»; 7 – термопара с открытым спаем типа ХК; 8 – ручной масляный насос; 9 – блок питания для иницирования; 10 – ПЭВМ; 11 – мультиметр (аналого-цифровой преобразователь) «Крейтовая система «LCARD»

Методика проведения испытаний заключалась в следующем. В первой серии испытаний в камеру сгорания помещалось заданное количество углеводородного горючего вместе с зарядом ТКВ (твердые кислородсодержащие вещества) на основе хлората натрия ($NaClO_3$). Заряд представлял собой гибкую сгораемую трубку, снаряженную 5 г насыпного источника кислорода. Реакция разложения ТКВ инициировалась нихромовой спиралью (термопарой 7). Указанные испытания проводились без начального давления. После иницирования оценивали максимальные значения давления и температуры и время протекания реакции.

В одной из серий испытаний в камеру подавался газообразный азот до создания в ней давления 8–12 МПа. Жидкое водосодержащее топливо (ЖВТ) инициировалось зарядом специально разработанного высококалорийного твердого топлива, содержащего магний. Заряд инициировался подачей напряжения (10–12 В) на нихромовую спираль, герметично установленную в торец заряда. Для оценки давления, создаваемого одним зарядом, испытания проводились на насыщенном водном растворе нитрата аммония NH_4NO_3 (аммиачной селитры) и карбамида $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (или мочевины). Работоспособность ЖВТ и заряда оценивалась по максимальным значениям давления и температуры.

Основной объем экспериментальных исследований был проведен на жидком водосодержащем топливе (ЖВТ), представляющем собой водный раствор аммиачной селитры и мочевины. Испытания проводились на двух видах топлива:

- топливо № 1 – 30 % масс. H_2O + 56 % масс. NH_4NO_3 + 14 % масс. CH_4ON_2 ,
- топливо № 2 – 34 % масс. H_2O + 52 % масс. NH_4NO_3 + 14 % масс. CH_4ON_2 .

Плотность топлива № 1 – 1,30 г/см³.

Плотность топлива № 2 – 1,27 г/см³.

Проведены термодинамические расчеты твердых кислородосодержащих веществ (KNO_3 , NaClO_3) в смеси с дизельным топливом, а также раствора нитрата аммония (NH_4NO_3) и мочевины (CH_4ON_2) в воде. Определены состав продуктов горения, адиабатическая температура горения и теплота химической брутто-реакции разложения выбранных смесей. Адиабатическая температура горения топлива (30 % масс. H_2O + 56 % масс. NH_4NO_3 + 14 % масс. CH_4ON_2) составляет ~1066 К (793 °С), теплота химической реакции – 1326 кДж/кг. Равновесная температура и теплота реакции практически не изменяются в диапазоне давлений от 10 до 50 МПа.

Для инициирования горения такой топливной смеси в скважине после проведения исследований была разработана конструкция и изготовлены скважинные термогенераторы с температурой на корпусе 800...900 °С в двух исполнениях – безгазовый термитный СТИ (рис. 2) и термогазохимический ТГС (рис. 3). Они могут применяться также и самостоятельно для плавления парафино-гидратных и асфальтеновых пробок, и для длительного прогрева прискважинной зоны пласта и вторичного трещинообразования в нем в зоне перфорации скважины.

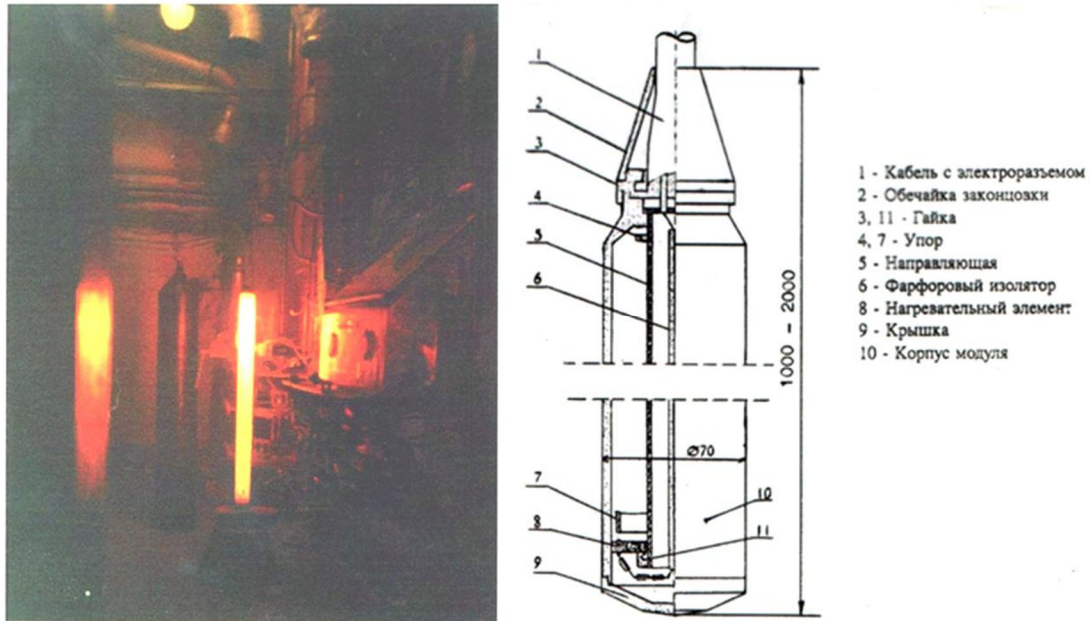
В конструкции устройств используются стандартные и унифицированные материалы и комплектующие детали, имеются узлы для крепления в штатной подъемно-транспортной оснастке, применяемой для работы в скважинах. В конструкции, ее комплектующих деталях и материалах отсутствуют токсичные и взрывоопасные материалы. Наружный диаметр устройства от 50 до 70 мм, допустимая глубина спуска устройства в скважину – до 5000 м.

В верхней части скважинного термогенератора предусмотрен разъем, создающий герметичное подключение к стандартному геофизическому кабелю, по которому осуществляется инициирование «розжига» через систему, вмонтированную в термитный топливный блок. Параметры инициирования: ток \approx 4 А; напряжение – 12 В; время «розжига» – не более 20 секунд; сопротивление моста инициирования – от 3 до 40 Ом.

Для обработки перфорированного интервала прискважинной зоны кристаллизующимся раствором аммиачной селитры в скважину закачивают смесь углеводородосодержащего и кислородосодержащего веществ до уровня не выше верхней границы интервала перфорации скважины. Указанные компоненты предварительно смешивают (например, в цементировочном агрегате), добавляя для связки небольшое количество нефти или дизельного топлива (ДТ) с загустителями и закачивают в скважину через НКТ. После этого инициируют реакцию окисления (производят поджиг) смеси.

Вес и объем смеси рассчитывают, исходя из объема скважины от искусственного забоя до верхних отверстий интервала перфорации. В качестве кислородосодержащего реагента можно использовать раствор полигликоля.

Опытно-промышленные работы проводились на договорной основе между ОАО «Сургутнефтегаз» (заказчик) и ООО «Берег-Сервис» (исполнитель) и ОАО «ВНИМИ» (соисполнитель).



$T_1, T_2 \sim 50^\circ\text{C}$ (через 2 часа 40 мин)

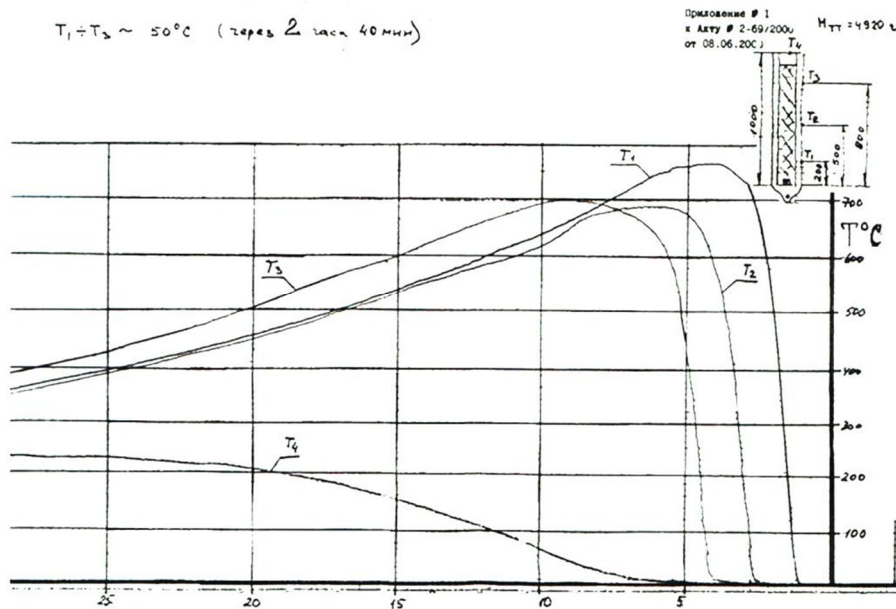


Рисунок 2 – Внешний вид конструкции скважинного термоизлучателя типа СТИ-65

Первые исследования осуществлены на месторождении Ульяновское в скважинах 1000 и 1001. Обе скважины с «открытыми» забоями выполаживающимися на пласт ЮС-0 Баженовской свиты с АВПД (аномально высоким пластовым давлением). Загеленная селитра с нефтью закачанная на горизонтальный участок скважины начинала реагировать после инициирующей реакции скважинного термоизлучателя.

В связи с отказом датчиков давления и температуры контроль за процессом термогазохимического воздействия осуществлялся по изменению давления в затрубном пространстве. Практически реакция продолжалась не менее 3–4 суток в колебательном низкочастотном режиме, при котором параметры давления на затрубье изменялось от 170 атм. до 195 атм. на скв.1000, и от 180 до 240 атм. на скв.1001. Частота перепадов давления составляла 15–20 мин., амплитуда 20–30 атм. Параметры затрубного давления превосходят параметры давления при гидроразрыве. В период отработки и вывода скважин на фонтанный режим эксплуатации, наблюдался интенсивный вынос шлама из скважины, что свидетельствует о раскрытии замкнутых пор в породе пласта и создании микротрещин благодаря термогазохимическому воздействию. Положительный эффект увеличения дебита сохранялся более 18 месяцев.

Скважинный термогенератор типа БУР



Рисунок 3 – Внешний вид конструкции скважинного термоизлучателя типа ТГС «БУР»

Характер деформирования труб (рис. 4), на которых монтировались датчики, после обратных расчетов позволяют утверждать, что действующие напряжения и температуры, способные повредить титаносплавную трубу толщиной 1 мм, соответствуют давлению 30 МПа и температуре 1000 °С.



Рисунок 4 – Характер деформирования и разрушения труб датчиков давления и температуры

В 2008 г. были проведены опытно-промышленные работы по термогазохимическому воздействию (ТГХВ) с применением водного раствора реагентов в скважинах Восточно-Сургутского и Быстринского месторождений. Суммарный дебит скважин по нефти увеличился почти в 2 раза (а точнее, с 21,1 т/сут. до 41,7 т/сут.).

Работы были продолжены в 2009 году в горизонтальных скважинах и скважинах с боковыми горизонтальными стволами, в которых другие (химические и механические) методы ОПЗ не дали ожидаемого результата.

Например, в двух скважинах Восточно-Сургутского месторождения, эксплуатирующих пласт ЮС-2, проведенные ранее работы по гидроразрыву пласта (ГРП) были отмечены как неэффективные. В скважине № 3001 ГРП производили дважды, в июле 2004 г. и в ноябре 2005 г., при этом результат оказался ниже ожидаемого. После проведения ТГХВ в ноябре 2008 г. дебит скважины по жидкости увеличился с 20 до 30 м³/сут., по нефти – с 11,4 до 15,3 т/сут. По скважине № 582 результат ГРП (сентябрь 2008 г.) признан unsuccessful: вместо расчётных 52 т в пласт вошло только 3,6 т проп-

панта. После проведения в ноябре 2008 г. ТГХВ дебит скважины по жидкости вырос с 5 до 12 м³/сут., по нефти – с 3,5 до 8,7 т/сут.

В скважине № 971р того же месторождения в апреле 2009 г. был пробурен боковой горизонтальный ствол (БГС) на пласт ЮС-2. Было решено вместо ГРП провести на ней ТГХВ. В процессе освоения БГС было установлено отсутствие приёмистости при давлении 8,0 МПа (допустимое давление на эксплуатационную колонну). После двукратной установки соляно-кислотной ванны отмечено появление приёмистости – 48 м³/сут. Определён приток из пласта – 8,6 м³/сут. при среднем динамическом уровне (СДУ) 976 м. После проведения ТГХВ с ГОС дебит скважины по жидкости составил 30 м³/сут., по нефти 14,1 т/сут. при СДУ 1201 м, что соизмеримо со средним результатом от ГРП по месторождению при гораздо меньшей стоимости работ по проведению ТГХВ.

Диаграмма ТГХВ в разведочной скважине 1569Р Восточно-Сургутского месторождения представлена на рисунке 5.

ТЕРМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

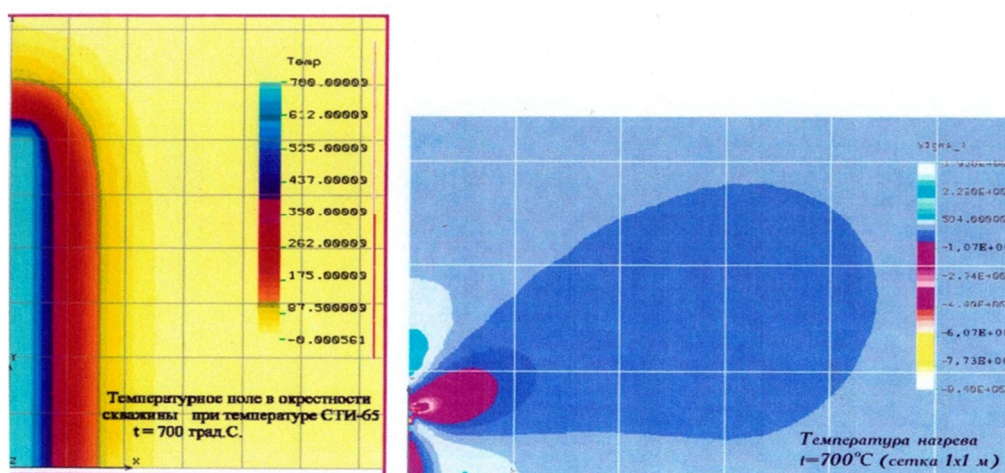


Рисунок 5 – Температурное поле в окрестности скважины при работе СТИ-65 (700 °С)

Суммарный дебит 10-ти скважин (из общего количества 14 скважин), где ТГХВ признаны эффективными, до проведения воздействия составлял 54,3 т/сут. нефти, после воздействия составил 127,5 т/сут., т.е. увеличился в 2,3 раза. Длительность эффекта от ТГХВ варьирует от 92 суток до 669 суток (данные ТО «СургутНИПИнефть»). Средняя продолжительность эффекта на одну обработку 216,5 суток.

Поскольку термогазохимическое воздействие достаточно просто встраивается во многие технологические циклы по интенсификации нефтегазовых притоков, устранению парафиногидратных и асфальтосмолистых отложений, успешному проведению термогазохимического разрыва пласта, подогреву кислотных составов (включая органические кислоты) при кислотных обработках, авторами запатентованы возможные варианты использования ТГХВ [2, 3, 4]. Эксклюзивным обладателем лицензий на применение технологий термогазохимического воздействия, защищенных патентами РФ № 2100584, № 2328594, № 2168008 (правообладатель – ОАО ВНИМИ), и технологических регламентов по его использованию является ЗАО «НПК «ГЕОЭЛЕКТРОНИКА сервис». Лицензии оформлены также на патенты РФ № 2447260 и 2456440, принадлежащие ООО «БЕРЕГ-Сервис», которое является дочерним предприятием ЗАО «НПК «Геоэлектроника сервис».

Выводы

1. Проведены лабораторные исследования различных способов воздействия на прискважинную зону пласта и оценена работоспособность устройств иницирования.
2. Для зажигания жидкого кислородосодержащего топлива разработано специальное твердое (безгазовое) топливо. Выбраны параметры системы иницирования при разогреве нихромовой спирали, установленной в заряд твердого топлива: напряжение – 12 В, ток – 4 А (сопротивление – 3 Ом).

3. Экспериментально подтверждена работоспособность жидких водосодержащих топлив (ЖВТ) на базе растворенных нитрата аммония и карбамида при зажигании специально разработанным высококалорийным твердым топливом. Определено, что устойчивое горение ЖВТ возможно при давлениях выше 10–12 МПа.

4. Отработаны режимы и условия применения полигликоля в качестве горючего в сочетании с селитрой как кислородосодержащего агента вместо карбамида.

5. Проведены опытно-промышленные работы на ряде нефтяных месторождений. Суммарный дебит 10-ти скважин (из общего количества 14 скважин), где ТГХВ признан эффективным, увеличился в 2,3–3,5 раз.

Список литературы:

1. Гончаров Е.В., Карманский А.Т. Применение твердых кислородосодержащих веществ для повышения продуктивности нефтяных скважин // Записки Горного института. – Т. 185. «Современные проблемы геомеханики и горного производства и инновационные технологии в горном деле». – СПб., 2010. – 285 с.

2. Способ повышения продуктивности скважин. Патент РФ № 2235870, приоритет от 14.10.2003 г., опубликован 10.09.2004 г.

3. Способ разрушения парафиногидратных и парафиносмолистых отложений. Патент РФ № 2289678, приоритет 07.06.2004 г., опубликован 20.12.2006 г.

4. Скважинный нагреватель для наклонно пробуренных и выполаживающихся скважин. Патент РФ № 2491412С2, приоритет от 11.12.2009 г., опубликован 27.08.2013 г.

УДК 622.276

АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ПРОМЫСЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СО СВЕРХНИЗКИМИ ФЕС В УСЛОВИЯХ АВПД НА ПРИМЕРЕ ПРИОБСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Горпинченко
Алексей Николаевич**

ООО «Газпром персонал» проект «Ачим Деведопмент»
заместитель генерального директора по общим вопросам
swengorr@yandex.ru

**Жарикова
Наиля Халимовна**

Санкт-Петербургский горный университет
кандидат технических наук,
доцент кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений
Zharikova_Nkh@pers.spmi.ru

**Савенок
Ольга Вадимовна**

Санкт-Петербургский горный университет
доктор технических наук,
профессор кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений
Savenok_OV@pers.spmi.ru

Аннотация. Ачимовская свита находится на территории Западной Сибири и характеризуется низкими фильтрационно-емкостными свойствами и аномально высоким пластовым давлением. Трудности, которые возникают при разработке месторождений, обусловлены с двумя причинами: 1) низкие значения проницаемости и пористости, которые связаны с глубоководным формированием отложения; 2) залегание пластов на значительных глубинах, бурение которых нередко осложнено тектоническим и литологическим экранированием.

Ключевые слова: геологическое строение ачимовской свиты; общее описание меловых отложений; литолого-стратиграфическое описание отложений; нефтегазонасность и коллекторский потенциал; клиноформы.

Ачимовская свита расположена на территории северной части Тюменской области, залегает над баженовской свитой и представляет собой серию линзовидных тел, флюидоупором для которых служат глинистые отложения надачимовской толщи. Наиболее перспективной на нефть и газ является Нерутинская мегавпадина, а также прилегающие к ней территории. Основными нефтегазонасными зонами являются отложения ачимовской свиты, которая ограничена с востока савуйской клиноформой, а именно пластами АчБУ₁₂ и АчБУ₁₆, с севера – краем Нерутинской мегавпадиной (рис. 1), с запада и юга – контур Большехетской мегасинеклизы.

Кровля ачимовской свиты была отмечена от Юбилейного куполовидного поднятия со значением – 3400 м и до наиболее погруженной части Нерутинской мегавпадины на – 3900 м. Мощность песчаников-коллекторов может достигать до 100 м. Согласно исследованиям, к наиболее утолщенным частям тел, называемым депоцентрами и находящимся в районе Уренгойского и Самбургского месторождений, приурочены наибольшие запасы углеводородов, а также наибольшие значения дебитов.

Геологами сформулирована и принята теория о клиноформном строении ачимовской свиты, доказанным является залегание ачимовской свиты на глинах баженовской свиты, а также наличием двух зон глинизации – на западе, связанная с выклиниванием песчаных пластов в дистальной части, и на востоке, связанная с переходом в алевролитоглинистые накопления. По результатам палеонтологических исследований керна определено, что ачимовская свита сформирована в диапазоне от берриаского яруса K₇В на востоке и до готеривского яруса на западе K₇Г.



Рисунок 1 – Карта Западно-Нерутинской нефтегазоносной зоны:

1 – скважины; 2 – месторождения углеводородов; 3 – Западно-Нерутинская нефтегазоносная зона; сейсмические профили: 4 – МОГТ; 5 – МОГТ 7602013

Общее описание меловых отложений

На изучаемой территории отложения распространяются выдержанно латеральному простираению и представлены верхним и нижним отделом. В геологическом разрезе нижнего отдела выделяют следующие отложения: ахская, черкашинская, алымская, викуловская и ханты-мансийская свиты, в верхнем же отделе выделяют ханты-мансийскую свиту, уватскую, кузнецовскую, березовскую и ганькинскую свиты (рис. 2).

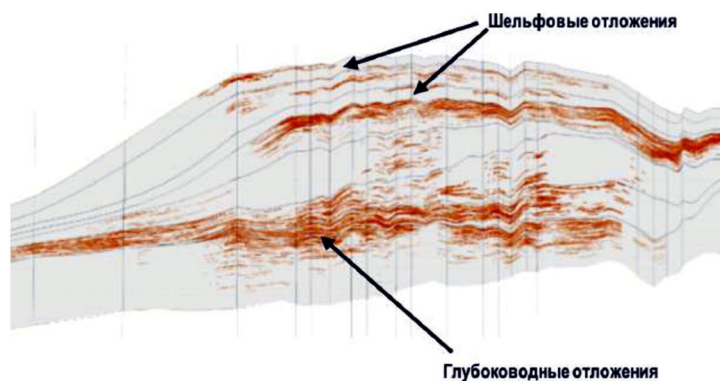


Рисунок 2 – Характерный разрез по пластам

Ахская свита. Данная свита разделяется на две подсвиты: нижнюю и верхнюю, в основании данной свиты залегают тёмно-серые битуминозные аргиллиты баженовской свиты, также встречаются битуминозные и известняковые прослои. Ахская свита достигает в мощности порядка от 20 до 40 метров в мощности и выделяется в качестве подачимовской свиты.

Ачимовская толща. Описанная выше подачимовская свита перекатывается отложениями ачимовской свиты, разрез которой характеризуется сложным строением с постоянным переслаиванием серых мелкозернистых песчаников с алевролитами и аргиллитами, слюдястыми с растительным детритом и глинисто-карбонатным цементом. Песчаники ачимовской свиты невыдержанные по простиранию и очень часто имеют чешуйчатое строение. Отложения практически отсутствуют в центральной и западной части площадей и достаточно на юго-востоке и востоке, в отдельных частях которой могут достигать мощности до 150 метров на рассматриваемой территории. Возраст ачимовской свиты относят к валанжинскому по найденным в толще остаткам фораминифер и аммонитов.

Надачимовская свита. Общая мощность данной пачки варьируется от 80 до 130 метров, перекрывает ачимовские отложения и состоит из тёмно-серых аргиллитов и алевролитов валанжинского – раннего готеривского возраста с прослоями известняковых песчаников и слоистых алевролитов, также встречается растительный детрит.

В кровле залегают пачка аргиллитов, имеющих тёмно-серый цвет местами ближе к серому, который является тонкоотмученным с прослоями мелкозлюдястых алевролитов, также встречаются остатки позвонков рыб и пелиципод. Данные отложения накапливались в глубоководных обстановках осадконакопления, имеют повсеместное региональное развитие и служат отличным электрокаротажным маркером, который называется пимская пачка.

Черкашинская свита. Данная свита сложена переслаиванием мелкозернистого серого, светло-серого песчаника с тонкоотмученными тёмно-серыми и серыми аргиллитами, которые местами могут быть зеленоватыми. Периодически попадают остатки чешуи рыб и их позвонки, двустворки иноцерамы и конкреции сидерита. По найденным остаткам возраст свиты определён как готерив-бериамский. Песчаные пласты линзовидной формы невыдержанные по простиранию часто замещаются глинистыми слоями, смещаясь на запад с востока, мощность отложений черкашинской свиты составляет от 290 до 610 метров.

Алымская свита. Данная свита в основном сложена тёмно-серыми глинами от чёрных до светло-серых, встречаются прослои аргиллитов битуминозных и прослои мелкозернистых глинистых песчаников серого цвета. Мощность алымской свиты варьируется от 190 до 240 метров.

Литолого-стратиграфическое описание отложений

Ачимовская свита представлена прослаиванием песчано-алевролитового и глинистого материалов, которые варьируются от серого до светло-серого цвета, мелкозернистые, с включением растительного детрита, а также слюдястые и известняковые.

В разрезе выделяют три толщи:

- 1) подачимовская (состоит из тёмно-серых аргиллитов со слабой углеродистостью);
- 2) ачимовская (сложена песчаными линзами с прослоями глинистых; в Западно-Нерутинской нефтегазовой зоне светло-серыми песчаниками с включением олигомиктового, кварцево-слюдистого материалов, от тёмно-серых до серых алевролитов и от бурых до серых аргиллитов);
- 3) надачимовская (сложена неравномерно распределёнными по всему разрезу серыми аргиллитами с прослоями алевролитов и песчаников).

В сейсмических исследованиях, согласно литологическим критериям, выделяют три зоны ачимовской свиты: западную, центральную глубоководную и восточную мелкозлюдястую. Для каждой зоны можно выделить определённые особенности, характеризующие недра.

Западную зону можно охарактеризовать как отложения, в которых преобладают глины с малыми по мощности слоями алевролитов, практически полностью отсутствуют песчаники, а также дугообразное строение без преобладания развитой шельфовой ча-

сти. В пределах данной зоны залежи УВ не выявлены, на данный момент считается бесперспективной.

Центральная зона характеризуется гидродинамической несвязанностью резервуаров, которые литологически экранированы, выдержанностью коллекторов и покрышек. Преобладает обилие текстур, которые связаны с турбидитовыми отложениями, трещиноватых зон, увеличивается крутизна глиняных склонов, клиноформы перекрывают друг друга (рис. 3).

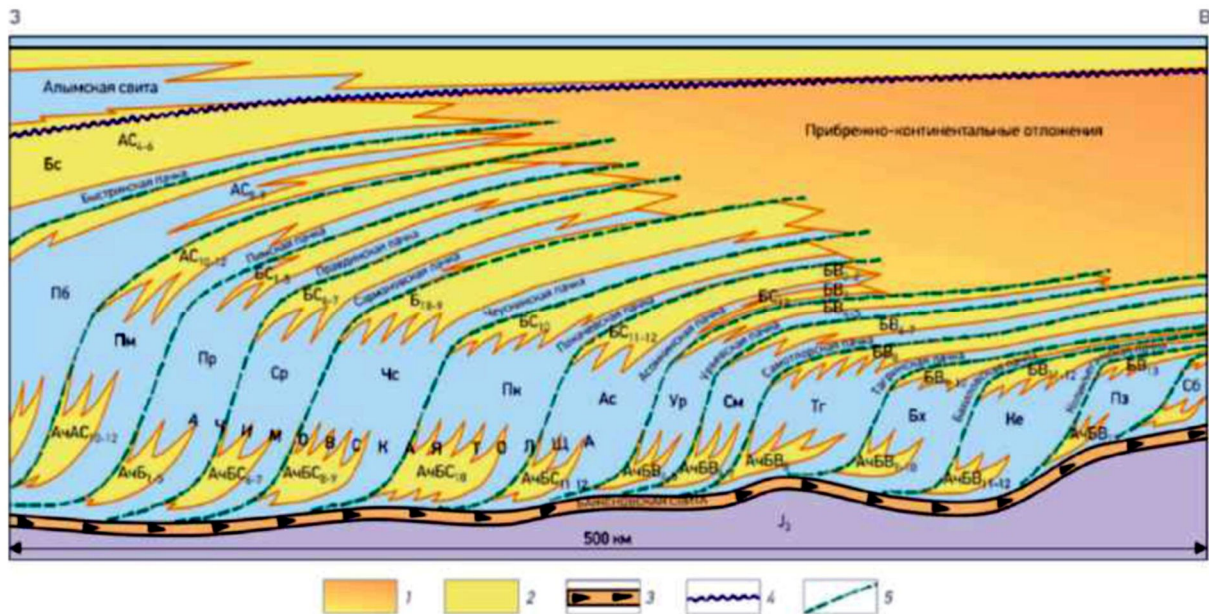


Рисунок 3 – Клиноформы резервуаров:

- 1 – прибрежно-континентальные отложения; 2 – песчано-алевритовые морские отложения;
3 – углеродисто-кремнистые аргиллиты баженовской свиты;
границы: 4 – неосоциклитов; 5 – субрегиональных клиноциклитов

Восточная зона характеризуется незначительными толщинами, отсутствием сигмовидных отражений на сейсмических пачках и повышением песчаности. Ещё одной закономерностью является увеличение толщин пластов-коллекторов в северном направлении, что связано с пригибанием Западно-Сибирского бассейна.

Нефтегазоносность и коллекторский потенциал

В ачимовской свите залежи углеводородов определены на Восточно-Медвежьей, Юбилейной, Южно-Падинкской, Ныдинской, Северо-Юбилейной площадях (рис. 4). Фильтрационно-емкостные свойства ачимовской свиты невысокие, показатели пористости в основном меньше $m = 0,18$, а проницаемость не превышает $k = 5$ мДарси.

Залежи на территории Нерутинской площади связаны с близкими к проксимальным частям конуса выноса, в которых наблюдается увеличение значения мощности пластов, а также коллекторские свойства незначительно улучшаются вверх по разрезу, при этом в некоторых пластах параметры проницаемости достигают $k = 9, 17, 50, 100$ мДарси. Залежи связаны с клиноформными образованиями ачимовской свиты, каждая из которых названа по перекрывающей её глинистой пачке.

В савуйской клиноформе от проксимальной части конуса выноса в направлении к зоне замещения песчаников замечено ухудшение свойств коллектора (рис. 5). Значения пористости пластов АчБН₁₆³ достигают $m = 0,155$, проницаемости $k = 7$ мДарси, в то время как для пластов АчБН₁₆¹ и АчБН₁₆² пористость равна $m = 0,16$, а проницаемости колеблются в диапазоне $k = 8-13$ мДарси. Для пластов чеуксинской клиноформы АчБН₁₅³ – АчБН₁₅² характерны малые мощности и значения ФЕС – $m = 0,17$ и $k = 9$ мДарси. В верхнем пласте данной группы наблюдаются низкие показатели проницаемости $k = 0,1$ мДарси, а в отдельных пластах данной группы пористость достигает значений $m = 0,19$ и проницаемость $k = 20$ мДарси.

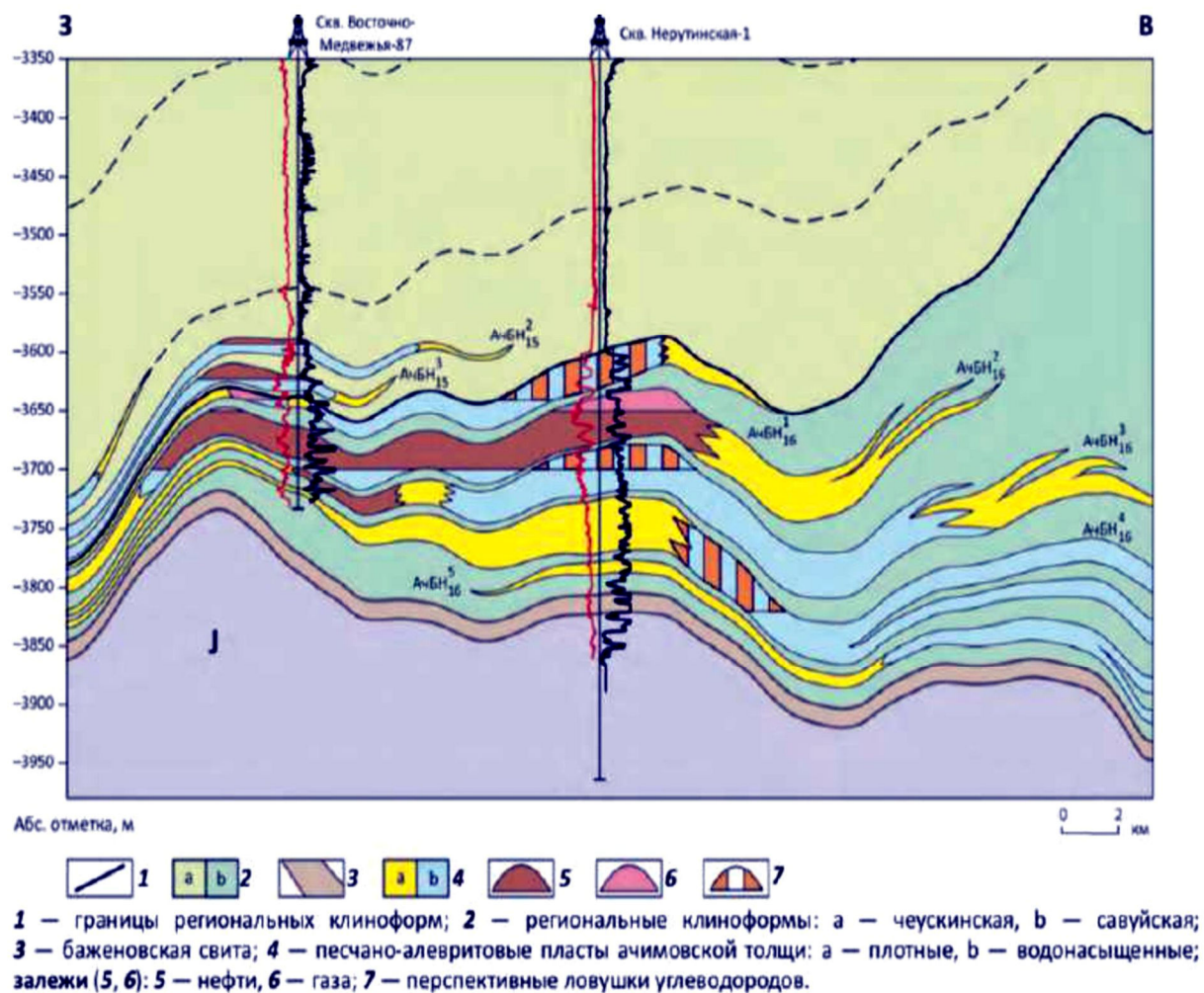


Рисунок 4 – Сейсмический разрез

Для Нерутинской впадины в ачимовских пластах были найдены следующие типы ловушек углеводородов: литологически экранированные, структурные, структурно экранированные, некоторые из которых нарушены дизъюнктивными движениями.

Краткая геологическая характеристика Приобского НГКМ

Приобское нефтегазоконденсатное месторождение находится в Тюменской области в Ямало-Ненецком автономном округе. Возраст ачимовской свиты, к которой приурочено месторождение, относится к нижнемеловому периоду. В литологическом плане месторождение характеризуется переслаиванием песчаников, аргиллитов и алевролитов. Месторождение приурочено к отложениям глубоководной обстановки осадконакопления, а именно к отложениям турбидитовых потоков (рис. 6).

Месторождение приурочено к Нерутинской мегавпадине и имеет сложное строение, не выдержанное по площади. Отложения не залегают на баженовской свите, которая является маркерным горизонтом на данной территории, и широко распространены на всей Западной Сибири.

На Приобском месторождении главные нефтеносные горизонты приурочены к песчаным фондоформенным телам, которые относятся к глубоководным обстановкам осадконакопления. Месторождение характеризуется сложным строением, площадь залежей газа и нефти относится к литологической границе коллекторов, распространённых в подводных конусах выноса глубоководной части бассейна, приуроченных к осадкам многочисленных турбидитных потоков.

В пределах месторождения порода-коллектор имеет типичное клиноформенное строение. На месторождении выделяется 8 основных клиноформ, в подошвах которых находятся отражающие горизонты $Id - Id_7$.

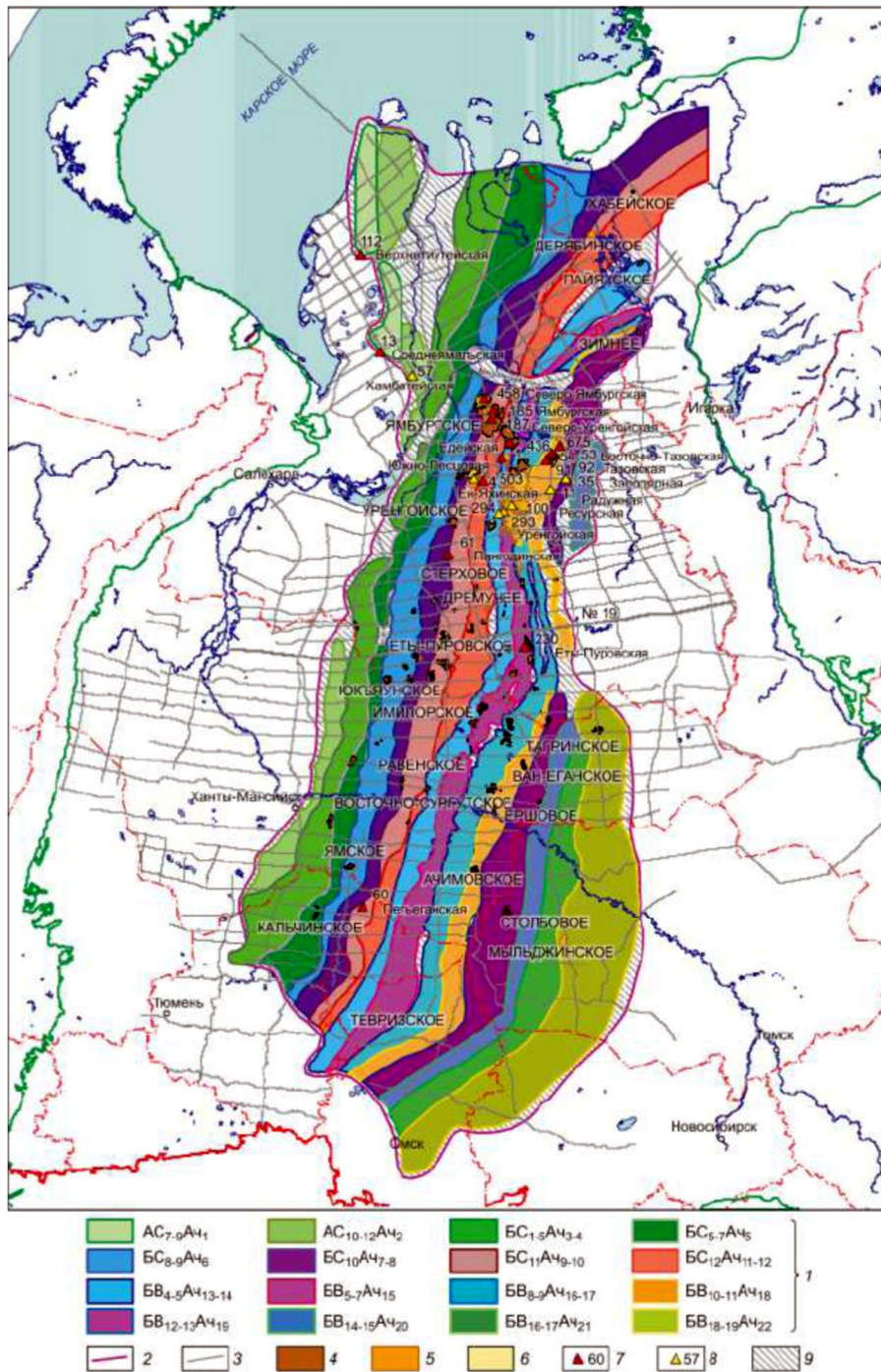


Рисунок 5 – Клиноформы ачимовской свиты

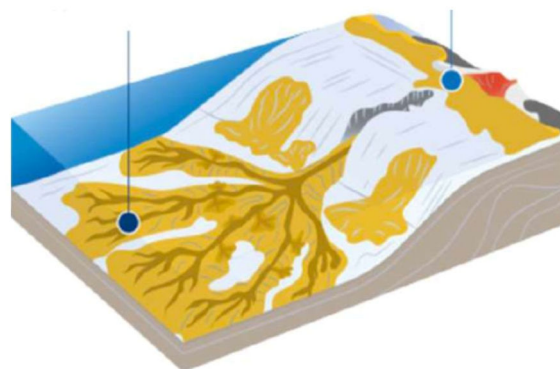


Рисунок 6 – Концептуальная модель отложений

Нижнехетская свита (возраст берриас – валанжин) представляется аргиллитом и алевролитом с карбонатным цементом, также в нижней части свиты встречаются песчаники. В таблице 1 приведены основные характеристики Приобского месторождения.

Таблица 1 – Основные характеристики коллектора Приобского месторождения

Свойство	Пласт 1	Пласт 2	Пласт 3
Кровля, м	– 3300	– 3350	– 3400
Нефтеносная площадь, $\times 10^8$, м ²	6,081	6,370	3,1
Нефтенасыщенная толща, м	22	25	29
Проницаемость, мДарси	0,98	0,98	0,98
Пористость, %	16	16	18
Насыщенность нефти, доли ед.	0,62	0,62	0,68
Начальное давление, бар	320	320	570
Начальная температура, °С	88,0	88,1	88,1
Сжимаемость породы, 10^{-5} бар	2	2	2
Тип залежи	литологически ограниченные, линзовидные		
Тип коллектора	терригенный, поровый		

Нефть может быть охарактеризована как лёгкая с низким содержанием газа и средней плотностью (таблица 2), в то время как порода характеризуется низкими фильтрационными свойствами и аномально высоким пластовым давлением в нижнем пласте.

Таблица 2 – Свойства пластовых флюидов

Свойство	Пласт 1, 2 и 3
Вязкость нефти в пластовых условиях, сП	1,4
Давление насыщения, бар	51
Растворённый газ, м ³ /м ³	45,8
Сжимаемость нефти, 10^{-5} бар	11,2
Объёмный коэффициент, доли ед.	1,11
Содержание серы в нефти, %	0,1
Содержание парафина в нефти,	4,67
Сжимаемость воды, 10^{-5} бар	3
Плотность воды в поверхностных условиях, г/см ³	1,014
Вязкость воды, сП	0,33

На рисунке 7 приведены относительные фазовые проницаемости.

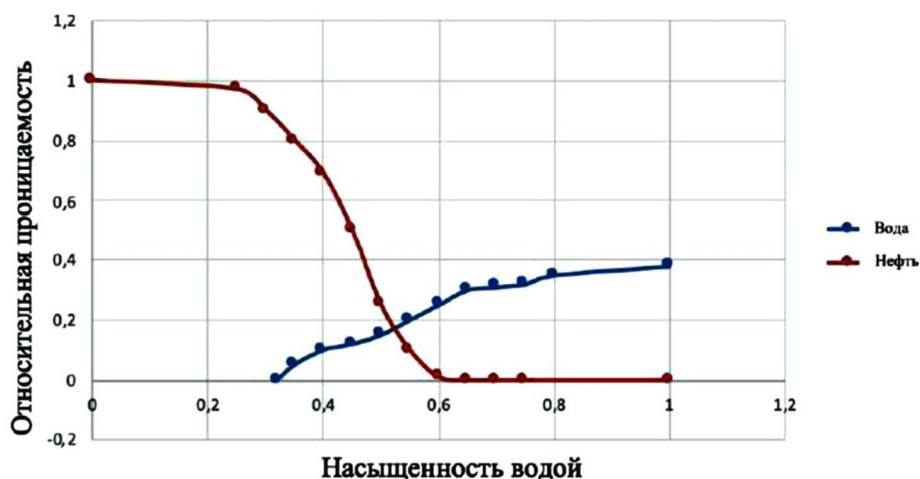


Рисунок 7 – Относительные фазовые проницаемости

Список литературы:

1. Бородкин В.Н., Курчиков А.Р. Материалы к уточнению стратиграфической схемы берриас – нижнеаптских отложений Западной Сибири с учётом клиноформного строения разреза // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – № 12. – С. 1631–1639.
2. Букатов М.В., Пескова Д.Н., Ненашева М.Г. Ключевые проблемы освоения ачимовских отложений на разных масштабах исследования // Профессионально о нефти. – 2018. – № 2 (8). – С. 16–21.
3. Горпинченко А.Н., Жарикова Н.Х., Савенок О.В. Анализ геологических зональных закономерностей строения ачимовских комплексов // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы XIII Международной научно-практической конференции (12–13 октября 2022 года, г. Астрахань). – Астрахань : Издательство Астраханского государственного технического университета, 2022. – С. 312–317.
4. Горпинченко А.Н., Жарикова Н.Х., Савенок О.В. Перспективы нефтегазоносности ачимовских отложений Западной Сибири и основные направления поисковых работ // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы XIII Международной научно-практической конференции (12–13 октября 2022 года, г. Астрахань). – Астрахань : Издательство Астраханского государственного технического университета, 2022. – С. 317–321.
5. Горпинченко А.Н., Жарикова Н.Х., Садыкова И.Р. Оценка перспектив нефтегазоносности ачимовской толщи на территории Западной Сибири // Материалы Международной научно-практической конференции «Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья» (15–17 ноября 2022 года, г. Санкт-Петербург). – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет, 2022.
6. Горпинченко А.Н., Жарикова Н.Х., Савенок О.В. Анализ разработки ачимовских отложений на месторождениях Западной Сибири // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Проблемы устойчивого развития территорий» (08–09 декабря 2022 года, г. Ставрополь). – Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2022.
7. Жарикова Н.Х., Горпинченко А.Н. Анализ природы и механизма возникновения аномально высоких пластовых давлений и закономерности распространения толщ с АВПД на примере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 2. – С. 87–103.
8. Жарикова Н.Х., Горпинченко А.Н. Особенности геологического строения ачимовских отложений на примере Приобского нефтяного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 2. – С. 104–121.
9. Жарикова Н.Х., Горпинченко А.Н., Масалова А.А. Анализ геолого-промысловых характеристики Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения с целью поиска месторождений-аналогов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 98–111.
10. Савенок О.В., Горпинченко А.Н. Анализ влияния коэффициента аномально высокого пластового давления на разработку нефтегазовых месторождений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 2. – С. 141–154.
11. Сидубаев А.Б. Прогноз турбидитных коллекторов (ачимовских коллекторов) на основе комплексных геологических и сейсмических данных для проведения FID // Сборник статей 82-ой ежегодной конференции и выставки EAGE (Европейская ассоциация геологов и инженеров). – 2020. – № 1. – С. 1–5.
12. Соседков В.С., Четвертных В.П. Строение ачимовской толщи Восточно-Уренгойской зоны по данным сейсморазведки // Геология нефти и газа. – 1995. – № 2. – С. 28–34.

УДК 623

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Фо Чи ТХАНЬ

Восточноазиатский технологический университет (EAUT),
Вьетнам
преподаватель
thanhdc@eaut.edu.vn

Аннотация. Горная промышленность представляет собой такую сферу деятельности человека, в которой возможности применения интеллектуальных технологий, практически неограниченно. Это объясняется тем, что на любом этапе развития горного производства, которое можно определить как системно скоординированную совокупность технологий функционирующих в рамках целенаправленной инженерной деятельности в земной коре, а именно [1, 2, 5]:

- а) разведка месторождений и предварительная оценка запасов;
 - б) проектирование технологий, выбор схем и соответствующего оборудования;
 - в) эксплуатация месторождений, представляющий собой как правило уникальную комбинацию технологий (основных, вспомогательных и обеспечивающих);
 - г) ликвидация экологических последствий горных работ;
- Возникают проблемы, решение которых требует использования экспертных оценок и эвристических методов. Эти экспертные заключения “качественного” характера базируются, с одной стороны на эмпирическом опыте, представленном в невербализованном текстовом (экспертные заключения) или графическом (схемы, экспериментальные реализации) виде.

Ключевые слова: разработка интеллектуальной системы управления горно, технологическими процессами, управления горным, процессе ведения горных работ, анализ геологических.

Введение

Необходимость естественной интеграции экспертно-интеллектуальной информации в глобальную структуру управления горным производством обусловлена рядом характерных особенностей горного производства:

1. Критерии оптимального функционирования технологий, объединяемых понятием горно-производственные процессы существенно отличаются по способу описания и, как правило, противоречивы, то есть, задача управления горным производством является многокритериальной, а вклад того или иного технологического процесса в формирование интегральных показателей трудно оценить формальными методами.

2. Объекты горного производства отличаются пространственной распределенностью основных параметров управления, взаимосвязи между которыми обладают существенно нелинейным характером и образуют сложную топологическую структуру, которая постоянно изменяется в процессе ведения горных работ.

3. Параметры технологических процессов находятся под воздействием ряда неконтролируемых горногеологических и горнотехнологических факторов, стохастическое, нестационарное воздействие которых вносить неопределенность в состояние системы и делает практически невозможным использование формальных методов прогнозирования процессов и управления горным производством.

Существует несколько условий, позволяющих сделать заключение о том, что разработка интеллектуальной системы для решения данной проблемы необходима и возможно, это:

- наличие плохо формализуемых задач, то есть невозможность строгой формулировки критерия оптимальности решения;

- невозможность использования классических вычислительных или статистических методов, в силу существенной нелинейности и не стационарности изучаемых явлений и процессов;
- наличие необходимой экспериментальной и справочной информации;
- необходимость использования эвристических методов при решении проблемы;
- существование экспертов по данной проблеме;

Можно выделить несколько основных классов проблем горного производства для которых выше условий и при решении которых интеллектуальные методы, программные и аппаратные средства используются наиболее успешно.

1. Разведка месторождений полезных ископаемых. Анализ геологических.
2. Оценка запасов месторождения, т.е. идентификация месторождения на основе разведочного бурения скважин.
3. Выбор технологических схем отработки месторождений и селекция оборудования по критериям экономической эффективности и технологической безопасности.
4. Диагностика технологического оборудования различного назначения: добычного (для открытых и подземных технологий), транспортного и вспомогательного.
5. Планирование развития горных работ, включая проектирование отдельных технологических блоков и специализированных устройств для определенных технологических операций.
6. Управление технологической безопасностью, основанное на комплексном анализе причин, приведших к возникновению катаклизмов (пожары, взрывы, обрушения и т.д.) и выработке ситуативных планов и механизмов принятия адекватных решений.
7. Диспетчерское управления отдельными технологическими процессами и производством в целом.
8. Экологический мониторинг, базирующийся на оперативной обработке экспериментальной информации, методах анализа и прогноз возможных последствий производственной деятельности, методах формирования планов ликвидации этих последствий.

В соответствии с классификацией горных наук предложенной в работе Л.А.Пучкова, в которой используется многоуровневая динамическая стратификация областей знаний, процесс интеллектуального управления горным производством можно рассматривать как комплекс оперативных и плановых (нормативных) решений, формирование которых основано на обработке разнотипных и разномасштабных информационные потоков. В качестве иницирующего рассматривается процесс воздействия на горный массив и его разрушение. Этот процесс вызывает развитие ряда геофизических процессов, а весь комплекс горно-технологических процессов, технологических операций, образует внутреннее технологическое окружение системы. внешнее окружение определяется:

- Правовым обеспечением (свод законов и нормативных актов о землепользовании).
- Критериями экологической безопасности.
- Требованиями технологической безопасности (правила безопасности).
- Экономическими критериями.

Оперативная информация, поступающая с сенсорных устройств может быть разбита на две части:

1. I_0 – информация о параметрах физических процессов, например аэрогазодинамических.
2. I_M – информация о состоянии технологического оборудования основного производственного цикла, а также о технологических устройствах вспомогательных и обеспечивающих процессов.

Статичная или квазистатичная информация объединена нами условно как фактическая информация.

I_ϕ – фактическая информация включающая:

- геологические особенности месторождений;
- технологические схемы ведения горных работ;
- характеристики добычного и вспомогательного оборудования;

– плано-производственная информация, являющаяся некоторым (нормальности) функционирования объекта в определенном временном интервале.

I_p – прогнозная информация, полученная в результате использования каких либо вычислительных или логических процедур, определяющая адекватность используемых моделей, методов с объектом управления.

В качестве модели представления знаний предлагается использовать продукционную схему. В этом случае основные функции системы можно записать следующим образом:

$$F_1(I_0, I_M) \rightarrow E, \quad (1)$$

где E – множество распознаваемых явлений и ситуаций, включающее технологические нарушения (отказы технологического оборудования), газодинамические явления и процессы, часть которых может трактоваться как аварийные.

$$F_2(E, G, T, M, I_p) \rightarrow V(q), \quad (2)$$

где $G[\varphi]$ – информационные структуры, описывающие горногеологических факторов; $T[\xi]$ – информационные структуры, соответствующие технологическим схемам отработки и в частности характеризующие схему оборудования; $M[\theta_k]$ – модели состояния технологического оборудования

$$\varphi_i, i = \overline{1, M_1}, \xi_i, i = \overline{1, M_2}, \theta_k, k = \overline{1, M_3}.$$

Модели структуризации (продукционные правила, решающие деревья) их количество M_1, M_2, M_3 для каждого из перечисленных метапонятий.

$V = \{V_1, V_2, \dots, V_{M_4}\}$ – множество оценок; конкретное значение элемента множества V определяется выбранной шкалой (нечеткая, интервальная, экспертная, статистическая).

$$F_3(V, I\phi) \rightarrow D(Y), \quad (3)$$

где D – выбранный способ задания решений; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_{M_5}\}$ – множество возможных решений.

Укрупненная структурная схема, соответствующая процессу поиска решений при реализации системой перечисленных функций представлена на рисунке 1.

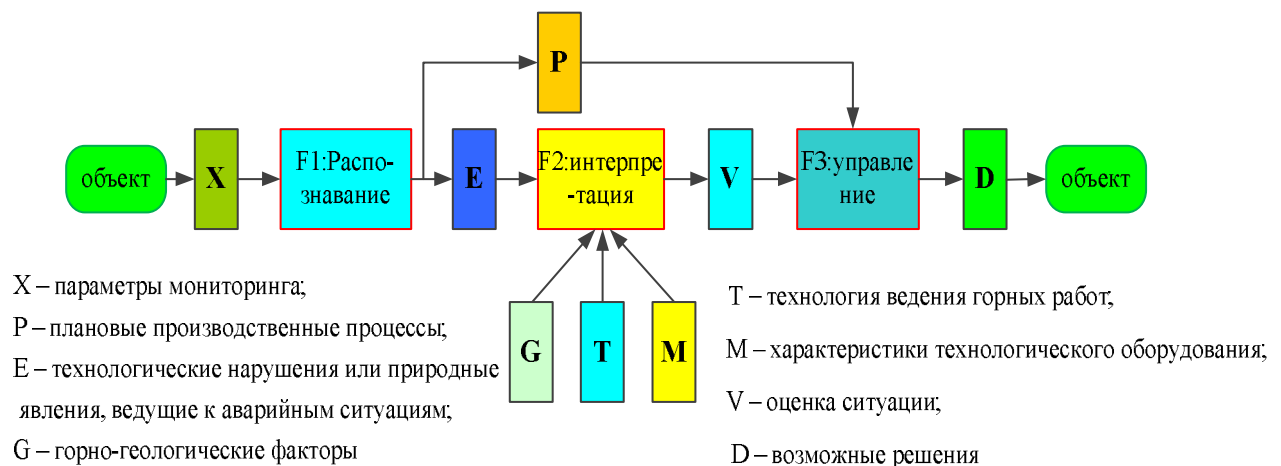


Рисунок 1 – Структура механизма интеллектуального управления

Рассмотрим теперь более детально структуру отдельных информационных элементов системы.

Обобщая приведенные ранее соображения относительно информационных сущностей, образующих информационный базис интеллектуальной мониторинговой системы, еще раз отметим, что информационная база системы в целом, формируется на основе объединения трек информационных потоков, а именно:

- экспериментальной информации, получаемой либо в автоматическом режиме, либо в результате специальных исследовательских замеров;
- экспертной информации, основное содержание которых-установление связей и зависимостей между сущностями;
- фактографической информации, которую можно условно представить в виде нескольких компонент:
 - а. Геологическая база;
 - б. Технологическая база;
 - в. База оборудования.

Можно сказать, что информационные базы (а-в) образуют статическую область информационного пространства, а составляющие их элементарные объекты могут быть описаны с помощью любого известного формализма, типа «объект-атрибут-значение».

Вместо часто используемого в литературе по экспертным системам понятия фрейм, будем использовать термин фрагмент, который на наш взгляд, лучше отражает структуры связей в рассматриваемой системе.

Элементы перечисленных информационных баз могут быть представлены, например, следующим образом:

Ф₁ (имя: транспортное средство
тип: ленточный конвейер
размещение: штрек № 9
техническая характеристика – 1

техническая характеристика -к);
Ф₂ (имя: добычной комбайн
тип

Аналогично могут быть описаны элементарные объекты базы технология, а именно, горные выработки, угольные пласты и вмещающие породы. Этот вопрос является достаточно хорошо изученным и описан в ряде публикаций [7, 8], поэтому в настоящей работе не обсуждается.

Более подробно остановимся на особенностях организации информационных элементов, которые взаимодействуют с оперативной информацией.

Пусть X – некоторое множество параметров, которое контролируется (это может быть автоматический режим контроля или специальные исследовательские замеры).

Для конкретных горно-технологических процессов это могут быть: «горное давление», «температура шахтной атмосферы», «концентрация газа СО», «скорость воздуха», «концентрация пыли» и т.д.

Очевидно X является основным средством диагностирования состояния объекта, однако само состояние зависит от воздействия технологий на среду и ответной реакции среды.

Обозначим $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{k2}\}$ – множество явлений представляющих реакцию объекта на воздействие технологии, например:

- выброс угля и газа;
- взрыв газовой смеси;
- обрушение кровли и т.д.

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_{k2}\}$ – множество явлений, непосредственно связанных с ведением горных работ:

- пережатие вентиляционных труб;
- отключение системы дегазации;
- проведение буровзрывных работ.

$S = T \cup P$ – обозначим множеством явлений $\{s_1, s_2, \dots, s_{k2+k3}\}$,

Кроме этого, введем еще два типа информационных объектов.

W – множество технологических агрегатов $\{W_1, W_2, \dots, W_{k4}\}$, состояние которых описывается с помощью ситуативных деревьев.

W_i – можно рассматривать, или как простой объект, например, «местный вентилятор № 05 – отключен» или как иерархически организованный объект.

W_i – добычной комбайн в лаве № 3;
 W_{i1} – комбайн работает;
 W_{i2} – комбайн отключен;
 W_{i11} – комбайн работает (перемещение в прямом направлении);
 W_{i12} – комбайн работает (перемещение в обратном направлении);
 W_{i111} – работа под нагрузкой;
 W_{i112} – работа без нагрузки.

Аналогично можно рассматривать множество возможных решений:

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{k5}\}$, где d_i – либо простое одношаговое решение, либо точка входа в иерархически организованный фрагмент – решение.

Для этого используем ранее определенные нами информационные компоненты а также выделим несколько классов или уровней знаний, образующих когнитивную основу горного дела:

K_1 – эвристические знания – отражение конкретного практического опыта специалистов, который может быть сведен к известным производственным схемам типа «причина – следствие» или «условие – действие»;

K_2 – эмпирические знания – обобщения экспериментальных исследований и практического опыта, которые могут быть выражены в форме закономерностей, т.е. устойчивых тенденций, а также аналитических или графоаналитических зависимостей;

K_3 – фундаментальные знания – универсальные физические законы в форме классических уравнений математической физики.

Применительно к проблеме шахтой аэрогазодинамический в качестве примера фундаментальных знаний можно отметить законы Кирхгофа для нелинейных распределительных сетей или управление Рейнольдса описывающие фильтрационные процессы [2, 3, 6].

Основные функциональные задачи системы могут быть представлены в формальном виде. Алгоритм расчета естественного воздухораспределения можно записать в функциональной форме следующим образом:

$$f_1: I_\phi \wedge k_1 \wedge k_2 \wedge k_3 \rightarrow I_p. \quad (4)$$

Алгоритм прогноза развития газодинамических процессов:

$$f_2: I_0 \wedge I_M \wedge I_\phi \wedge k_2 \rightarrow \hat{I}_p, \quad (5)$$

где $x_1 \wedge x_2$ – обозначает, что информационные компоненты (объекты) x_1, x_2 используются при решении задачи совместно.

Аналогично, можно описать и более специфичные процессы обработки информации, характерные для интеллектуальных систем, такие например как автоматическое формирование базы знаний на основе примеров, представляющих собой комбинацию экспертной и экспериментальной информации, или автоматическое обучение (корректировка базы) в ходе оперативного мониторинга объекта:

$$f_3: I_0 \wedge I_\phi \rightarrow \hat{K}_1, \quad (6)$$

$$f_4: I_0 \wedge I_\phi \wedge \hat{K}_1 \rightarrow \hat{K}'_1.$$

Механизмы реализации функциональных блогов, получаемых в результате структурой декомпозиции следует трактовать, как алгоритмы и программы, необходимые для реализации рассмотренных функции.

Таким образом структуру (рис. 1) можно рассматривать как общую функциональную схему интеллектуальной системы управления динамическими процессами горного производства.

Заключение

Представленная схема иллюстрирует процедуру интеллектуального управления. Рассматриваемая процедура включает три основных функциональных блока, которые используются при поиске решений в строгой последовательности и образуют при поиске решений в строгой последовательности и образуют трехступен-

чатую процедуру управления. Более детальное представление об основных операциях, реализуемых при формировании перечисленных блоков можно получить на основе средств функционального моделирования.

Список литературы:

1. Темкин И.О., До Чи Тхань. Формирование базы знаний интеллектуальной системы управления аэрогазодинамическими процессами в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 3. – С. 84.
2. Темкин И.О., До Чи Тхань, Агабубаев А. Повышение безопасности ведения горных работ в метанообильных шахтах Вьетнама с использованием моделей прогнозной аналитики // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 8-2017. – С. 142–152.
3. Темкин И.О., До Чи Тхань, Агабубаев А. Использование искусственных нейронных сетей для прогнозирования концентрации метана в шахтах Вьетнама // Труды международного симпозиума «Неделя Горняка» (Москва, 27–31 января 2017 г.).
4. Пучков Л.А., Темкин И.О. Проблемы искусственного интеллекта в управлении горным производством. – Препринт ИПКОН АНССР, 1990. – 24 с.
5. Темкин И.О. Принципы построения интеллектуальных систем управления горно-технологическими процессами // Горный информационный бюллетень, МГГУ. – 1996. – № 4. – С. 40–48.
6. Темкин И.О. Разработка теории и методов построения интеллектуальных нейросетевых систем управления аэрогазодинамическими процессами в шахтах : дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1996. – С. 61–69.
7. Темкин И.О., Бондаренко И.С., Баранникова И.В. Оценка интегральных параметров проекта на основе нейросетевых моделей прогноза стоимости и сроков реализации проекта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – Отдельный выпуск № 6. – С. 95101
8. Темкин И.О., Клебанов Д.А. Интеллектуальные системы управления горно-транспортными комплексами: современное состояние, задачи и механизмы решения // Горный информационно-аналитический бюллетень. Труды международного симпозиума «Неделя Горняка» (Москва, 27–31 января 2014 г.). – 2014 – Отдельный выпуск № 1 – С. 257–266.

УДК 622

ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫЙ СИНЕРГИЗМ ИНГИБИРОВАНИЯ ГЛИН**Иванов Д.Ю.****Кубанский государственный технологический университет**
старший преподаватель кафедры нефтегазового дела**Усов С.В.****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела**Мойса Ю.Н.****ООО «НПО «Химбурнефть»**
кандидат химических наук, директор

Аннотация. Проблема набухания и диспергирования глин во время бурения транспортно-стволового и первичного вскрытия продуктивных пластов нефтегазовых скважин требует применения ингибирующих буровых растворов на водной основе (РВО), содержащих ингибирующие добавки различного механизма действия или буровых растворов на углеводородной основе (РУО). Представлены результаты тестирования различных ингибиторов глин с применением экспресс-методики по РД 39-00147001-773-2004 «Методика контроля параметров буровых растворов» (Приложение 8 РД 39-2-813) определения ингибирующих свойств РВО, РУО и технологических жидкостей (ТЖ). Выполнен анализ ингибирующих свойств водных растворов минеральных, органо-минеральных и органических соединений различной природы, применяемых в промышленной практике для обработки РВО и ТЖ. Сравнительные испытания выполнены по отношению к 3 %-ому водному раствору хлористого калия (KCl), наиболее распространенному минеральному ингибитору глин в системах биополимерных РВО применяемых при ЗБС с горизонтальным окончанием.

Ключевые слова: набухание и диспергирование глин, буровые растворы на водной (РВО) и углеводородной основе (РУО), технологические жидкости (ТЖ), экспресс-методика оценки ингибирующих свойств, хлористый калий, нитрат кальция, формиаты, органический ингибитор ХБН, ингибирующая смазочная добавка ФК Плюс.

Изучению механизмов ингибирования глинистых минералов, коллоидной устойчивости буровых растворов на водной основе (РВО) и углеводородной основе (РУО) в нефтегазовой промышленности посвящено большое количество исследований и методических разработок [1–3]. Это обусловлено тем, что во время бурения в условиях циркуляции РВО или РУО под давлением и фильтрации в открытом стволе скважины глинистые минералы могут набухать и диспергироваться, что приводит к осложнениям и нестабильности ствола скважины. Сохранение устойчивости ствола скважины является одной из основных проблем, которые встречаются при бурении. В результате взаимодействия между РВО и породами происходит расширение ствола скважины, осадкообразование, образование каверн и обвалов. Уменьшить влияние этих факторов можно с помощью введения в РВО и РУО электролитов, поверхностно-активных веществ (ПАВ), полимеров и различных добавок. Набухание и диспергирование глинистых пропластков коллектора во время бурения продуктивного нефтегазового пласта скважины снижает проницаемость пласта и уменьшает количество добываемой нефти и газа [4, 5].

В России для оценки физико-химического взаимодействия буровых растворов с глинистыми породами предложен и запатентован [1] показатель увлажняющей способности P_0 (см/ч) по изменению массы глинистых образцов за определенный промежуток времени выдержки в буровом растворе в соответствии РД 39-00147001-773-2004 «Ме-

тодика контроля параметров буровых растворов» (Приложение 8 «Методика оценки ингибирующих свойств буровых растворов» РД 39-2-813) [2].

Российский метод оценки ингибирующих свойств буровых растворов полностью коррелирует с методами изучения ингибирующих свойств буровых растворов и химре-агентов, применяемыми в международной практике [3]:

– визуальное определение механических свойств глинистых образцов пригот-овленных из сланца Глен Роуз, содержащих 15-20 % глинистого минерала монтмо-риллонита;

– оценка линейного набухания предварительно напряженного образца породы в среде бурового раствора, «SWELL METER OFITE»;

– оценка диспергирующей способности бурового раствора в условиях повы-шенных температур, «ROLLING TEST» или «HOT ROLL»;

– метод измерения устойчивости сланцев (ИУС, «SSI») путем определения степени влияния буровых растворов на прочностные свойства пород;

– метод измерения скорости увлажнения специальной бумаги с электроконтак-тами «SHALE TEST».

Основным измеряемым параметром при оценке ингибирующих свойств РВО, РУО и ТЖ по экспресс-методике оценки ингибирующих свойств буровых растворов являются масса поглощенной жидкой фазы высококоллоидальными глинистыми образ-цами, содержащими до 95 % минерала монтмориллонита. Показатель По (см/ч) ис-пользуется в качестве показателя (количественного критерия) ингибирующих свойств растворов, так как позволяет различать (ранжировать) исследуемые растворы по ско-рости адсорбции жидкой фазы РВО, РУО и ТЖ эталонным образцом глинистых мине-ралов, предварительно спрессованных при 10 МПа в виде цилиндрического столбика, торцевые поверхности которого экранированы парафиновым слоем. Исследования проводятся при комнатной температуре и выдержке в течение 4 часов 2-х параллель-ных эталонных образцов спрессованного глинопорошка марки ПБТ-1 Таганского ме-сторождения (ТУ 2164-001-50655195-2006) в различных водных растворах ингибито-ров, РВО, РУО и ТЖ в сравнении с 3 %-ным раствором хлористого калия (KCl). При низких ингибирующих свойствах испытываемых растворов эталонные образцы глини-стых столбиков разрушаются с потерей формы и внешнего вида (боковой поверхно-сти). Отсутствие на поверхности эталонных глинистых образцов трещин и осыпаний, минимальные численные значения показателя По (см/ч) указывает на высокую ингиби-рующую способность исследуемых водных растворов различных ингибиторов глин, РВО, РУО и ТЖ [6, 7].

Указанный простой и удобный метод оценки ингибирующих свойств может быть использован в качестве экспресс – метода при первичном тестировании и сравнительных испытаниях эффективности различных ингибиторов глин для различных систем ингиби-рующих буровых растворов. Кроме того, эспресс-метод может быть использован в про-мысловых условиях на скважине при бурении и вскрытии проблемных интервалов.

Сравнительная оценка водных растворов минеральных ингибиторов глин выпол-нена с целью определения их эффективности и выбора оптимальной концентрации для применения в РВО, РУО и ТЖ. Испытаниям подвергнуты водные растворы следующих минеральных ингибиторов: хлористого калия (KCl в диапазоне концентраций 0,5–10 % мас.), хлористого кальция (CaCl_2 при концентрациях 1,0–40 % мас.), азотного удобрения нитрата кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,5–50 % мас.), алюмокалиевых квасцов (АКК 1,0–10 % мас.), а также водных растворов органо-минеральных ингибиторов глин: формиата натрия (HCOONa , 1,0–10 % мас.) и лимоннокислого калия (Цитрата К 1,0–10 % мас.).

Из диаграмм зависимости По от концентрации KCl (ГОСТ 4568-95 ОАО «Урал-калий») в водном растворе следует (рис. 1), что эффективность ингибирования глин в наибольшей степени возрастает с увеличением концентрации KCl в диапазоне от 0,5 % до 3,0 % и далее стабилизируется на уровне 0,62–0,68 см/ч. В дальнейшем для срав-нительных испытаний при каждом тестировании различных ингибиторов нами выбран 3 %-ный раствор KCl, который при лабораторном тестировании в условиях комнатных температур 18–24 °С обеспечивает стабильные значения на уровне показателя По = 0,87 ± 0,05 см/ч.

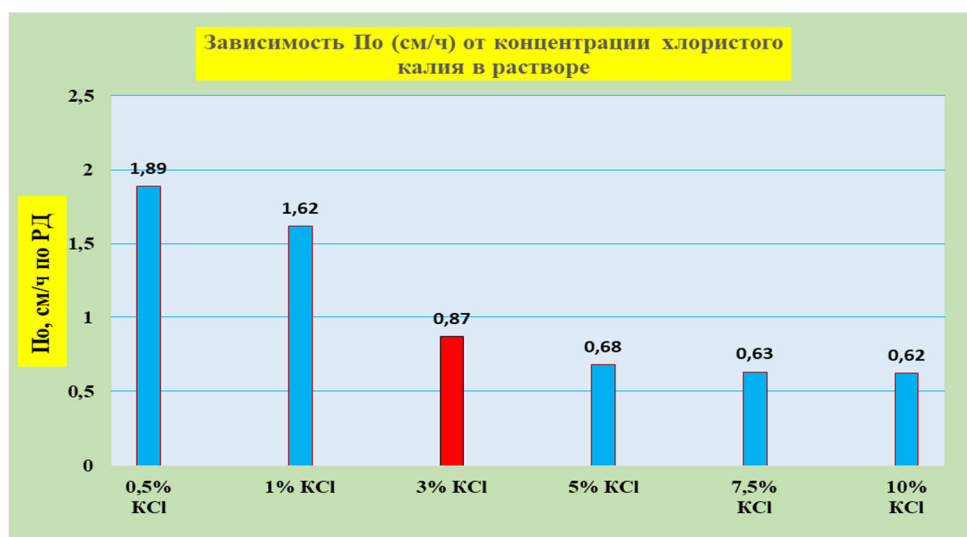


Рисунок 1 – Эффективность ингибирующих свойств по показателю P_o (см/ч) водных растворов KCl при концентрациях 0,5–10 % мас.

Результаты испытаний водных растворов минеральных и органо-минеральных ингибиторов применяемых для приготовления и обработки ингибирующих РВО, РУО и ТЖ показывают, что P_o (см/ч) в зависимости от концентрации ингибиторов может изменяться от 0,55 до 4,4 см/ч.

Оценка ингибирующих свойств органических ингибиторов глин показала, что эффективность их несколько ниже по показателю P_o при концентрациях от 1,0–10,0 % мас. Так, для формиата натрия (HCOONa), применяемого при обработке ингибирующих РВО в Западной Сибири при 3 % мас. составляет 1,88 см/ч., а для цитрата калия (цитрата К) при той же концентрации составляет $P_o = 1,2$ см/ч. Зарубежный органический ингибитор глин аминного типа KLA-CURE (N, N-Бис [2-бис (карбоксиметил) амино] этил] аминаоацетат калия, США) в аналогичных концентрационных условиях имеет еще более высокие значения $P_o = 2,25$ см/ч, т.е более низкую ингибирующую способность по отношению к глинистым минералам. Установлено, что эффективность ингибирующих свойств водных растворов импортных органических ингибиторов катионного типа BETA CAT 80 и амфотерного типа BETA SHI A при концентрациях 1–3 % мас. по показателю P_o составляет от 2,74 до 5,27 см/ч.

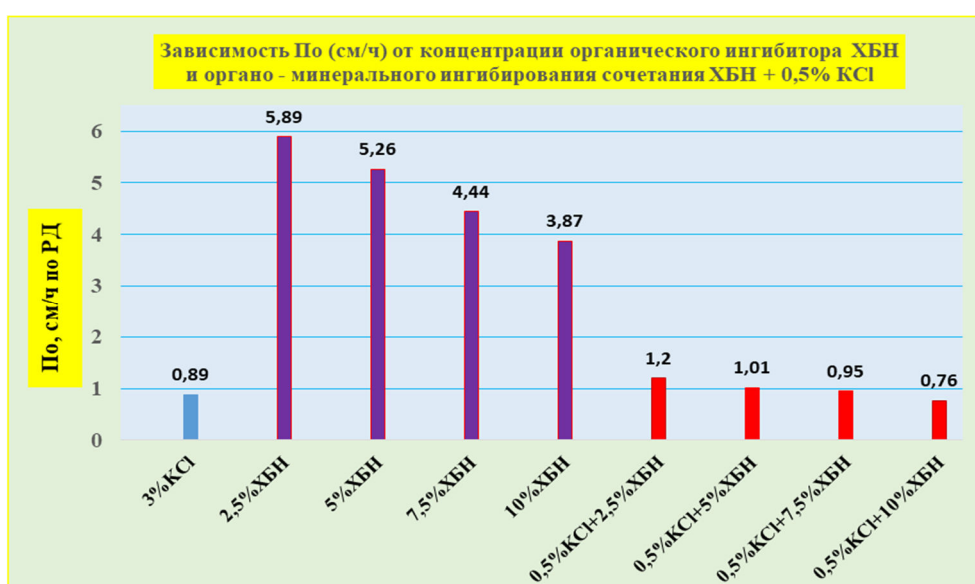


Рисунок 2 – Эффективность ингибирующих свойств водных растворов индивидуального органического ингибитора ХБН при концентрациях 2,5–10 % мас. и органо-минерального ингибирания глин сочетанием 2,5 % – 5,0 % ХБН + 0,5 % KCl

Сравнительные испытания органического ингибитора глин серии ХБН отечественного производства ООО «НПО «Химбурнефть», выпускаемого по ТУ 2458-001-49472578-04, в широком диапазоне концентраций 2,5–10,0 % мас. индивидуального применения и в сочетании с минеральным ингибитором KCl (0,5 % мас.), показали, что наибольшую ингибирующую способность органический ингибитор ХБН проявляет в сочетании с минимальным количеством минерального ингибитора (KCl 0,5 % мас.) обеспечивает по показателю P_0 (см/ч) высокую эффективность ингибирования глин на уровне $P_0 = 0,76–1,2$ см/ч (рис. 2) с положительным синергетическим эффектом органо-минерального ингибирования глин.

Таким образом, установлено, что при введении в водный раствор совместно органического и минерального ингибиторов эффективность ингибирующих свойств по отношению к глинистым минералам увеличивается с положительным синергетическим эффектом сочетания ионного и поверхностно – сорбционного механизма ингибирования глин. Положительный синергизм также наблюдается при оценке ингибирующей смазочной добавки марки ФК Плюс (ТУ 20.59.41-001-49472578-2021) и других современных зарубежных органических ингибиторов в органо-минеральных растворах (рис. 3).

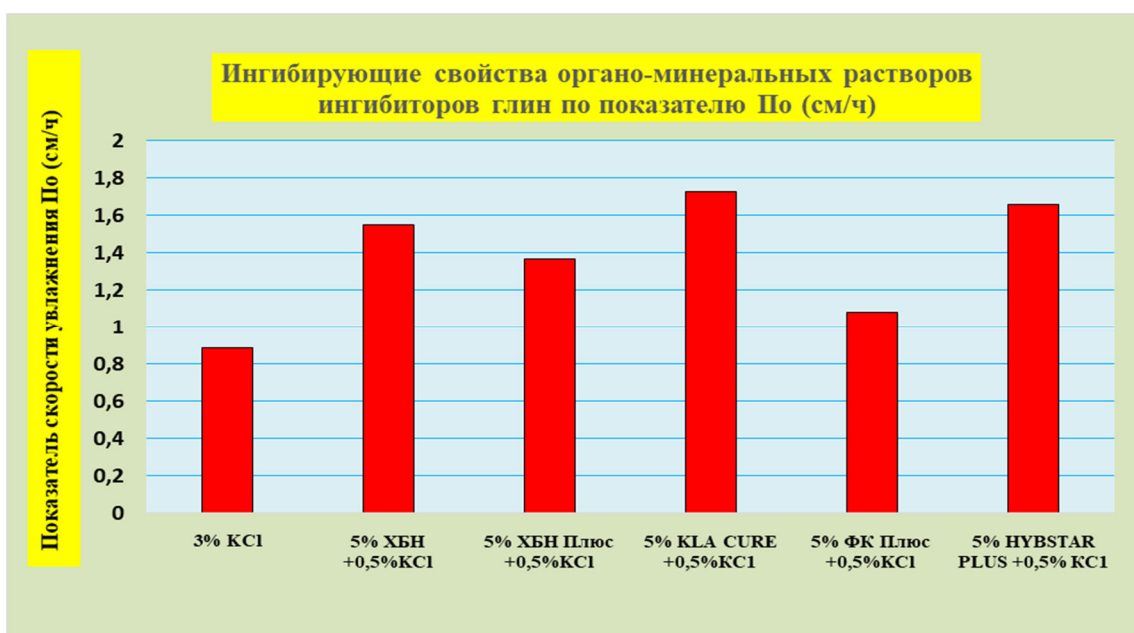


Рисунок 3 – Эффективность ингибирующих свойств органо-минеральных растворов 5 % ФК Плюс + 0,5 % KCl и зарубежных ингибиторов глин 5 % KLA-CURE + 0,5 % KCl и 5 % HVBSTAR PLUS + 0,5 % KCl в идентичных рецептурах по показателю P_0 (см/ч).

Выводы

1. Приведены сравнительные данные по ингибирующим свойствам водных растворов и дисперсий широкого ассортимента современных отечественных и зарубежных минеральных, органо-минеральных и органических ингибиторов и их композиций при ингибировании глин, а также различных ингибирующих систем РВО, РУО и ТЖ для бурения и ремонта нефтегазовых скважин.

2. В качестве показателя ингибирующих свойств водных растворов ингибиторов и буровых растворов использован показатель увлажняющей способности P_0 (см/ч) по РД 39-00147001-773-2004 «Методика контроля параметров буровых растворов». Приложение 8. РД 39-2-813 8 «Методика оценки ингибирующих свойств буровых растворов».

3. На основании выполненных исследований и полученных сравнительных данных определена эффективность и области положительного синергизма органо-минерального ингибирования РВО и ТЖ.

4. Показано, что применение российского экспресс-метода контроля ингибирующей эффективности по показателю увлажняющей способности P_0 (см/ч) при тестовых испытаниях в лаборатории и в промышленных условиях обеспечивает реальную

оценку промыслово-геофизической и технико-экономической эффективности новых ингибирующих реагентов в РВО при бурении нефтегазовых скважин.

Список литературы:

1. Пеньков А.И., Пенжоян А.А., Кошелев В.Н. / Способ оценки ингибирующих свойств буровых растворов // А.С. № 1222670 А, Бюл. № 13, 07.04.86.
2. Методика оценки ингибирующих свойств буровых растворов // РД 39-2-813. В сб. Методика контроля параметров буровых растворов РД 39-00147001-773-2004. – Краснодар : ОАО «НПО «Бурение», 2004.
3. Кошелев В.Н. Промывка нефтяных и газовых скважин. – М. : ООО «Издательский дом Недра», 2019. – С. 90–91.
4. Сравнительные испытания органических ингибиторов глин / О.А. Маслова [и др.] // НТЖ «Бурение и нефть». – 2010. – № 10. – С. 30–32.
5. Экспресс-метод оценки ингибиторов глин / Д.Ю. Иванов [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 5. – С. 108–112.
6. Дубов И.И., Мотошин Ю.А., Мойса Ю.Н. Результаты промыслового применения органического ингибитора глин ХБН при бурении боковых стволов в неустойчивых отложениях // НТЖ Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 35.
7. Мойса Ю.Н., Шишкин А.В., Макаров А.Н. Высокоингибирующие биополимерные буровые растворы серии HBN BIO PRO для бурения в сложных горно-геологических условиях // НТЖ Нефть.Газ.Новации. – 2017. – № 11. – С. 44–48.

УДК 620.193

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ
СУЛЬФИДОВ ЖЕЛЕЗА И КОРРОЗИЮ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 20
В МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ СРЕДЕ
В ПРИСУТСТВИИ СЕРОВОДОРОДА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА**

**Ишмуратов
Фарид Гумерович**

Научно-исследовательский институт
технических систем «Пилот»
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
farid_ishmuratov@mail.ru

**Волошин
Александр Иосифович**

ООО «РН-БашНИПНефть»
доктор химических наук, старший эксперт
voloshinai3@mail.ru

**Алимбекова
Софья Робертовна**

Научно-исследовательский институт
технических систем «Пилот»
кандидат технических наук, заместитель директора
ms.sofia.al@gmail.com

Аннотация. Изучено влияние электромагнитного поля (ЭМП) на коррозию низкоуглеродистой стали 20 и образование сульфидов железа в минерализованной водной среде в присутствии сероводорода и диоксида углерода. Показано, что ЭМП ускоряет общую коррозию на 29 %, в то же время локальная коррозия замедляется и снижается удельное количество очагов локальной коррозии. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии определены основные продукты коррозии. Показано, что ЭМП ингибирует образование сульфидов железа, но ускоряет образование карбоната железа.

Ключевые слова: электромагнитное поле, коррозия, сульфиды железа, сталь 20, сероводород, диоксид углерода.

Добыча нефти сопровождается коррозией нефтепромыслового оборудования, в результате которой образуются соли железа. Несмотря на то, что применение электромагнитного поля (ЭМП) при добыче углеводородов показывает высокую эффективность по защите скважин от солеотложения [1], до последнего времени отсутствовали какие-либо данные о влиянии ЭМП на CO_2 -коррозию углеродистой стали в присутствии сероводорода.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния ЭМП, генерируемого специальным оборудованием, на образование сульфидов железа, на коррозию конструкционной углеродистой стали 20, применяемой при изготовлении нефтепромыслового оборудования, в минерализованной водной среде в присутствии H_2S и CO_2 .

Оборудование и методика проведения эксперимента

Применяли оборудование «Резонансно-волновой комплекс» (РВК) производства компании «Пилот», генерирующий ЭМП в диапазоне частот от 100 до 200 кГц. Эксперименты проводили на лабораторном стенде, состоящем из РВК и помещенными в зоне ЭМП образцами стали 20 в сосудах с модельными водными минерализованными растворами. Установка была снабжена устройством для подачи CO_2 .

Для проведения исследования влияния ЭМП на образование сульфидов железа и на коррозию создали условия их образования на поверхности образцов-свидетелей из стали 20 в присутствии в растворе H_2S и CO_2 . Для этого:

Подготовили модельный раствор состава (табл. 1).

Таблица 1 – Ионный состав модельного раствора*

Анионы, мг/л			Катионы, мг/л			Минерализация, г/л
Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
83135	480	260	8550	2250	40100	134,8

* в условиях эксперимента раствор пересыщен по CaCO₃, SI = 0,2 (20 °C).

Барботировали CO₂ через модельный раствор (200 мл) из баллона с углекислым газом под давлением, контакта с кислородом воздуха был исключён. Далее в раствор внесли сульфид натрия 0,137 г. После полного растворения Na₂S, погрузили в раствор прямоугольные стальные образцы-свидетели размерами 30×10×3 мм. Образцы-свидетели были зачищены и отполированы на шлифовальных кругах разных размеров, обезжирены ацетоном, высушены и взвешены на аналитических весах с точностью до 5·10⁻⁵ г. Для каждого опыта применяли предварительно подготовленные образцы-свидетели. В результате гидролиза Na₂S в растворе образовывалась необходимая концентрация H₂S, которую определяли по методу ПНДФ 14.124.178-02. Максимальная концентрация H₂S в растворе была 0,3 г/л.

Подготовили РВК, установили сосуд с модельным раствором и образцами-свидетелями в зону действия ЭМП РВК.

Выдержали образцы-свидетели в растворе в течение 30 часов при комнатной температуре. Далее образцы-свидетели извлекли из раствора, промыли дистиллированной водой и просушили струей сухого воздуха.

Провели анализ образцов-свидетелей: после экспозиции поверхность образцов освободили от продуктов коррозии, обезжирили и взвесили. Скорость коррозии рассчитывали гравиметрическим методом по ГОСТ Р 9.905-2007 по формуле:

$$K_m = \frac{(m_1 - m_2)}{S \cdot t}, \quad (1)$$

где K_m – скорость коррозии, г/(м²ч); m_1 – масса образца до испытания, г; m_2 – масса образца после испытания, г; S – площадь поверхности стального образца, м²; t – продолжительность исследования, ч.

Определили степень локальной коррозии с помощью оптического микроскопа по количеству и площади локальных очагов коррозии на образцах. Провели рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию (РФЭС) образцов и продуктов коррозии.

Исследование качественного элементного состава продуктов коррозии на поверхности образцов (1 – с РВК, 2 – без РВК) проводили с помощью рентгеновского фотоэлектронного спектрометра JPS-9010MX (Jeol Ltd., Japan), оснащенного монохроматическим источником рентгеновского излучения Mg Kα ($h\nu = 1253,6$ эВ) с ускоряющим напряжением до 10 кВ и током до 10 мА.

Для более точного исследования продуктов коррозии исследуемые образцы подверглись травлению. Для травления использовалась ионная пушка типа Кауфмана, установленная в шлюзовой камере прибора, так, что образцы между этапами травления и съёмки не находились на воздухе. Травление осуществлялось ионами аргона при ускоряющем напряжении 600 В и токе эмиссии 12,3 мА. Время травления для каждого образца составляло 20 сек. Скорость травления на данном режиме составляла 40 нм/мин. Суммарная толщина стравленного таким образом материала оценивается в 10 нм.

Обсуждение результатов

Сложные электрохимические процессы в средах, содержащих CO₂ и H₂S, приводят к образованию ряда продуктов коррозии – сульфида железа, оксидов и карбонатов железа, которые существенно влияют на коррозионные процессы [2].

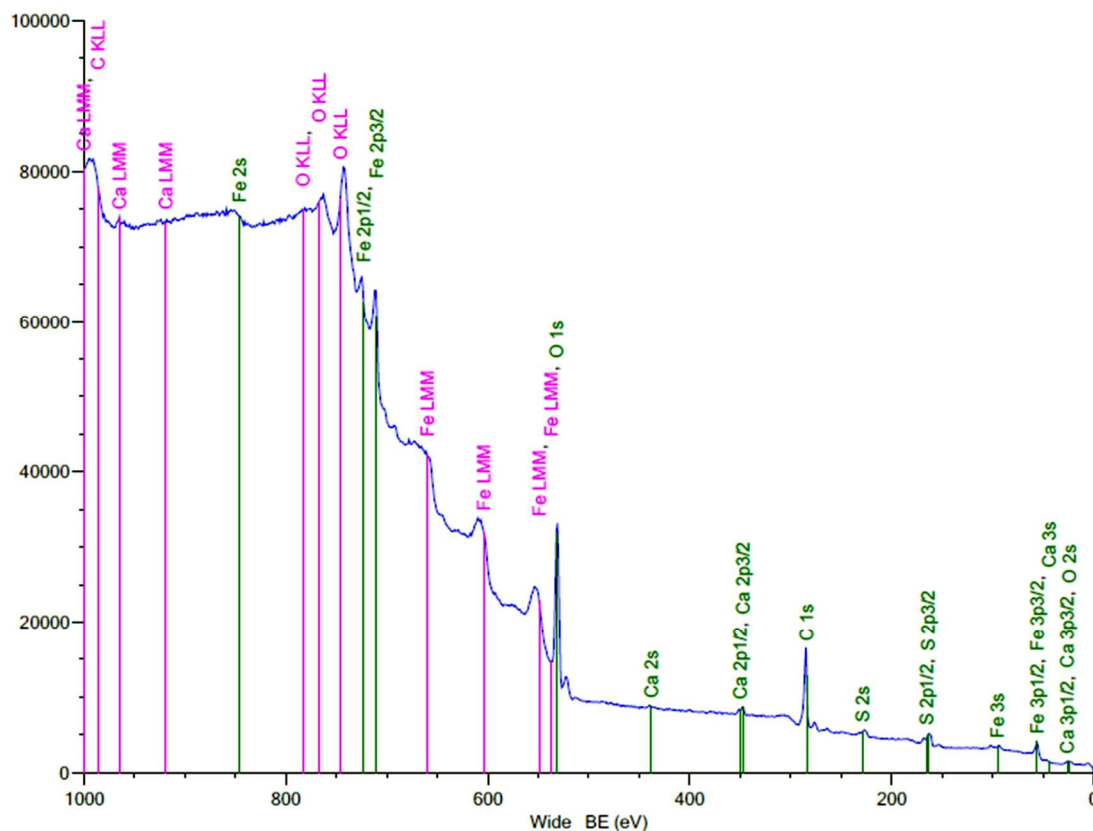
Нами установлено, что скорость коррозии (коррозионный расход) стального образца-свидетеля в растворе, облучаемом ЭМП, выше, чем образца – свидетеля в необлучаемом растворе (табл. 2).

Из анализа спектров РФЭС достоверно установлено, что интенсивность полосы серы продуктов коррозии на поверхности образца-свидетеля из необлученного рас-

творя значительно выше и составляет около 8500 (рис. 3, 4), чем на образце из облученного раствора (5500) (рис. 1, 2). Наблюдаемое изменение спектров РФЭС, по-видимому, связано с тем, что при воздействии ЭМП происходит ингибирование образования сульфидов железа.

Таблица 2 – Скорость коррозии образцов-свидетелей под воздействием РВК и без него (время экспозиции 30 ч)

Образец	$S_{\text{пов.}}$ (M^2)	m_1 , (г)	m_2 , (г)	K_m , г/(M^2 ч)
С РВК (Образец 1)	0,0013	7,7162	7,7131	0.079
Без РВК (Образец 2)	0,0013	10,5768	10,5744	0.062



Element	Region	Start (eV)	Finish (eV)	Step (eV)	Dwell (ms)	Pass (eV)	Scans
Wide		1000.000	0.000	1.000	200	50	2

Рисунок 1 – Спектры РФЭС образца 1 при воздействии ЭМП

В продуктах коррозии поверхности образца 1 под влиянием ЭМП, наблюдаются такие элементы как кальций, кислород, углерод, железо и сера (рис. 1). В отсутствие ЭМП в продуктах коррозии обнаружена линия спектра кислорода, отнесенная к соединению с группой $C = O$ (рис. 2, в). Наличие серы (рис. 2, а) на поверхности образца 2 обусловлено наличием соединений сульфидов железа. Установлено также, что дублет в области 347 и 350 эВ относится к кальцию, в соединении $CaCO_3$ (рис. 2, д).

В фотоэлектронном спектре на поверхности образца 2 (рис. 3) наблюдаются полосы таких элементов как хлор, кальций, кислород, углерод, железо и сера. Линия спектра при 531,2 эВ отнесена к кислороду в соединении $FeOOH$ (рис. 4 в). Наличие серы (рис. 4, а) на поверхности образца отнесена к соединению FeS . Интенсивность полосы серы составляет около 8500, что говорит о большем количестве продуктов коррозии на поверхности образца 2 в сравнении с образцом 1. Также на поверхности присутствуют полосы, относящиеся к кальцию (рис. 4, д) и хлору в соединении Cl_2 (рис. 4, е).

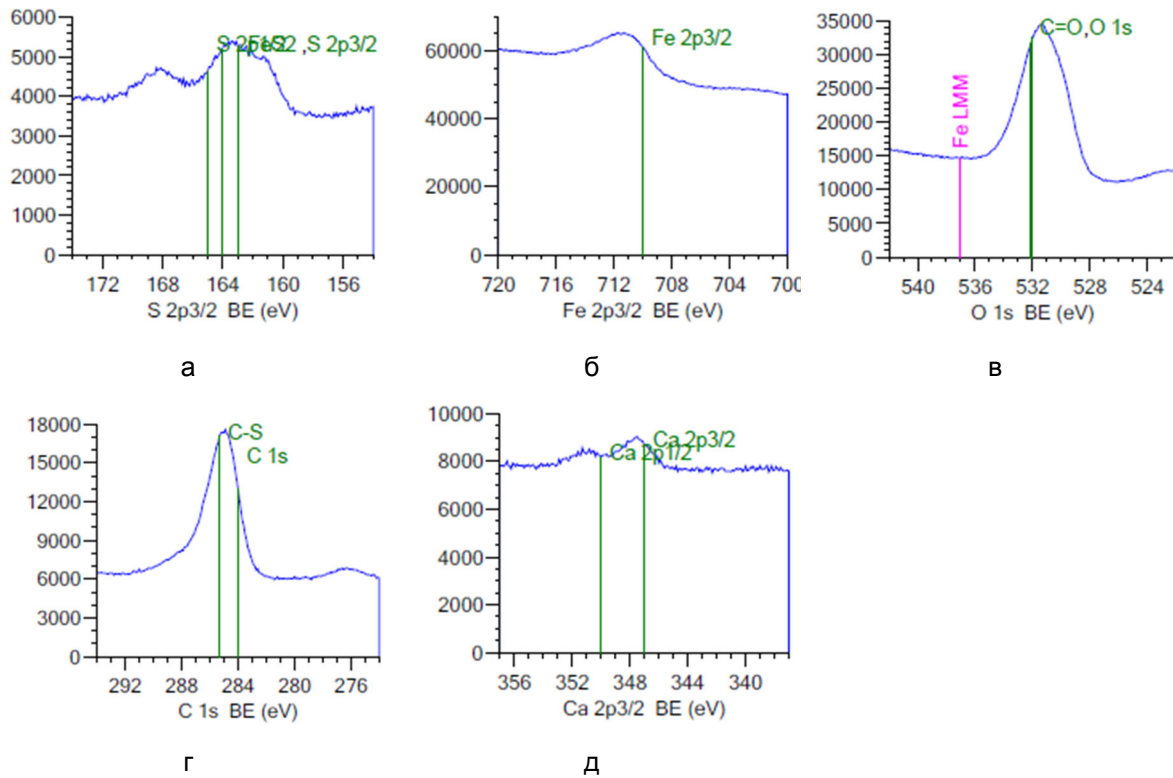
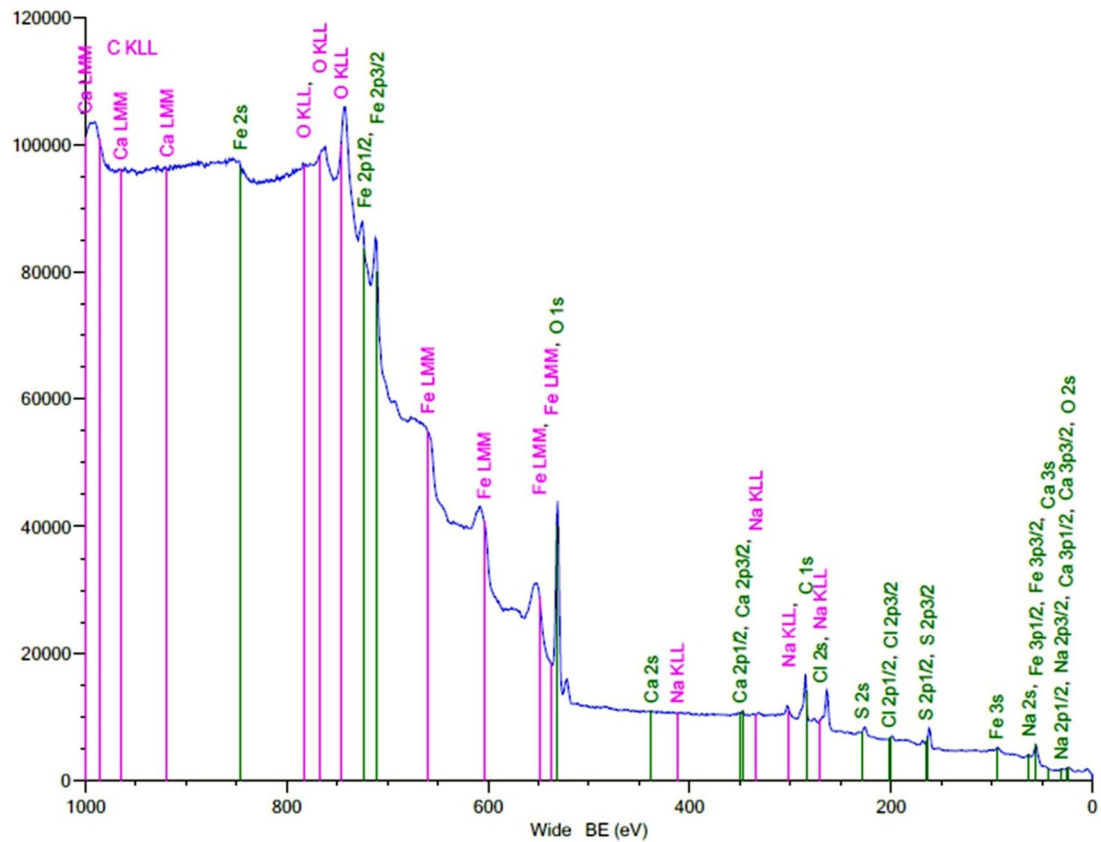


Рисунок 2 – Положение и интенсивность фотоэлектронных спектральных линий серы (а), железа (б), кислорода (в), углерода (г) и кальция (д) продуктов коррозии образца 1



Element	Region	Start (eV)	Finish (eV)	Step (eV)	Dwell (ms)	Pass (eV)	Scans
Wide		1000.000	0.000	1.000	200	50	2

Рисунок 3 – Спектры РФЭС образца 2

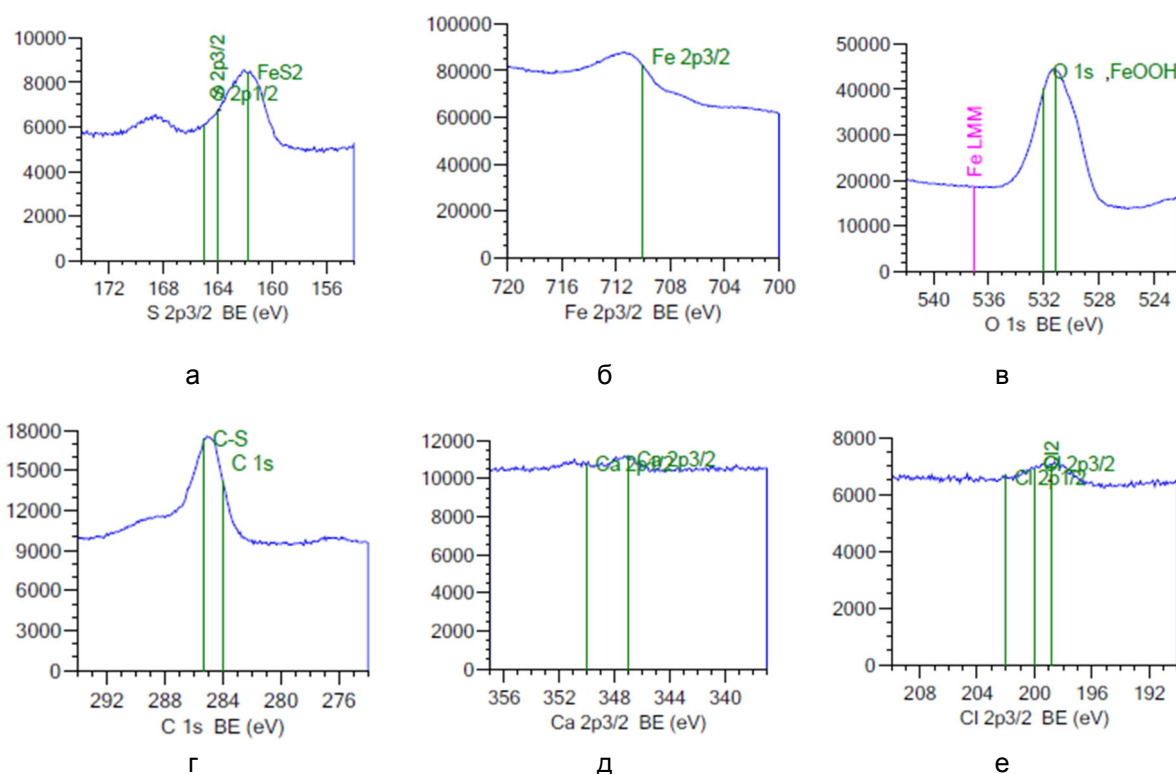


Рисунок 4 – Положение фотоэлектронных спектральных линий серы (а), железа (б), кислорода (в), углерода (г), кальция (д) и хлора (е)

На рисунках 5, 6 приведены микрофотографии стальных образцов-свидетелей после воздействия РВК и без него, из которых видно, что на поверхности стали под воздействием ЭМП сформировались достаточно плотные отложения из продуктов коррозии без очевидных очагов локальной коррозии (рис. 5), напротив, без ЭМП на поверхности стали обнаруживаются очаги локальной коррозии.

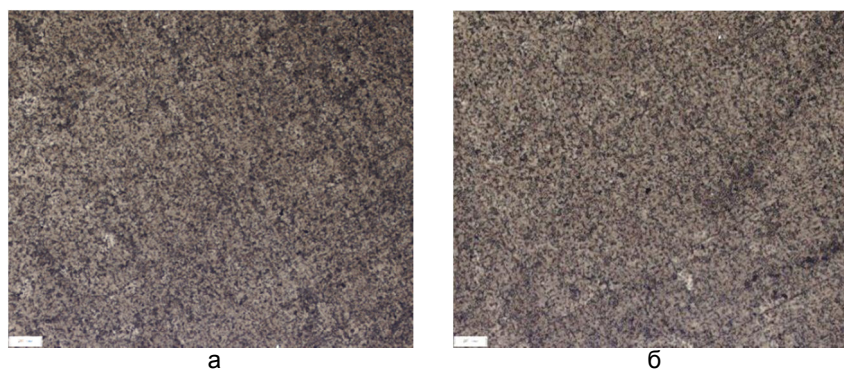


Рисунок 5 – Микрофотографии образца-свидетеля после воздействия РВК

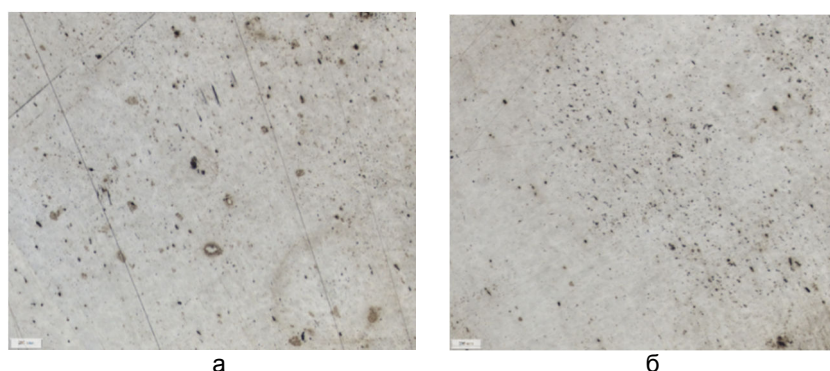


Рисунок 6 – Микрофотографии образца-свидетеля без воздействия РВК

Выводы

Таким образом, установлено, что скорость коррозии (коррозионный расход) углеродистой стали в минерализованной водной среде в присутствии H_2S и CO_2 , под воздействием ЭМП, выше, чем без ЭМП. Из анализа данных РФЭС сделан вывод об ингибировании образования сульфидов железа при воздействии ЭМП, но увеличивается образование карбоната железа и его оксидных форм. Показано, что под воздействием ЭМП происходит сокращение удельного количества очагов локальной коррозии на поверхности металла.

Список литературы:

1. Химические и физические методы ингибирования кристаллизации карбоната кальция : монография / С.Р. Алимбекова [и др.]. – Уфа : Башк. энцикл., 2021. – 64 с.
2. Review of recent progress in the study of corrosion products of steels in a hydrogen sulphide environment / X. Wen [et al.] // Corrosion Science. – 2010. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.05.002>

УДК 535.34.083.2:538.56

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ФОТОМЕТРИИ
И ПМР-РЕЛАКСАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЕЙ****Карачин
Вячеслав Игоревич****Казанский государственный энергетический университет**
магистр, ассистент
K29213@yandex.ru**Кашаев
Рустем
Султанхамитович****Казанский государственный энергетический университет**
доктор технических наук, профессор
kashaev2007@yandex.ru**Козелков
Олег Владимирович****Казанский государственный энергетический университет**
кандидат технических наук, доцент
ok.1972@list.ru

Аннотация. В статье методами лазерной фотометрии и протонной магнитной резонансной релаксометрии проведены исследования парафинистых нефтей. Получены зависимости сигналов фототранзистора и времен протонной магнитной релаксации от концентрации парафинов в нефти. На основе результатов сделан вывод, что наиболее тяжелые парафины из дисперсионной среды нефти оседают на сольватных оболочках ядра сложных структурных единиц нефти. Получены формулы, описывающие полученные экспериментальные зависимости.

Ключевые слова: лазерная, фотометрия, протонная, магнитная, резонансная, релаксометрия, парафинистые, нефти.

Для исследования парафинистых нефтей по поглощению лазерного излучения после его прохождения через нефть, находящуюся в ампуле, и одновременно по изменению параметров протонной магнитной резонансной (ПМР) релаксации, разработана экспериментальная установка. Она работает по следующему алгоритму: электромагнитная катушка при подаче на неё напряжения $U_{\text{кат}} = 15$ В втягивает ферромагнитный стержень и перемещает прикрепленный к нему шток с ампулой с образцом на его конце в позицию, в которой производится измерение ПМР-параметров вначале в магните Хальбаха с полем $B_0 = 0.155$ Тл и катушкой индуктивности, настроенной на резонансную частоту $\nu_0 = 6.5$ МГц и с одновременным измерением фототранзистором *BPW85B* поглощения лазерного луча от лазера; снятием напряжения на электромагнитной катушке ампула с образцом опускается в зазор постоянного магнита из сплава на редкоземельном элементе *NdFeB-35* с величиной магнитной индукции поля $B_0 = 0.3362$ Тл и катушкой индуктивности, настроенной на резонансную частоту $\nu_0 = 14.32$ МГц в датчике релаксометра протонного магнитного резонанса, описанного в работах [1, 2]. Температура образца устанавливается с помощью нагревающей/охлаждающей системы, включающей алюминированный стакан с глицерином, в который погружается пробирка и через который поток тепла/холода передается образцу от термоэлемента ТЕС1-12706, на который подается постоянное напряжение, меняющее направление в зависимости от нагрева/охлаждения с отводом холода/тепла через радиатор, обдуваемый кулером. Все элементы с проводной обвязкой и кнопчным пультом управления размещаются в едином каркасе.

В качестве источника излучения для измерений методом лазерной фотометрии (ЛФМ) использовался красный лазер с длиной волны $\lambda = 630\text{--}650$ нм (энергия кванта 1.68–1.98 эВ). Исследовались нефти ПАО Краснодарнефтегаз, Татнефть, Транснефть и стандартные образцы Томского центра стандартизации и метрологии при комнатной температуре 23 °С. На рисунке 1 представлены полученные зависимости сигнала

(СФТ) на фототранзисторе *BPW85B* от времен спин-спиновой релаксации $T_{2A,B,C}$ фаз А, В, С и концентраций парафина (%) при контроле в ампуле.

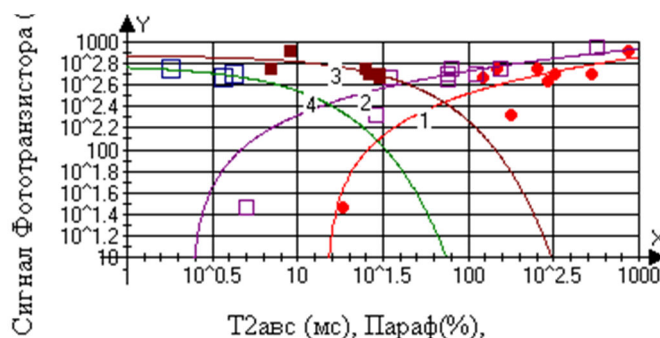


Рисунок 1 – Зависимости сигнала СФТ от времен спин-спиновой релаксации $T_{2A,B,C}$ (мс) фаз А, В, С (кривые 1–3) и парафина (кривая 4 – зеленая) при измерениях в ампуле

Зависимости с коэффициентами корреляции $R^2 = 0.6–0.9$ описаны:

$$\text{Кривая 1 СФТ} = 171\ln(T_{2A}) - 455. \quad (1)$$

$$\text{Кривая 2 СФТ} = 143\ln(T_{2B}) - 120. \quad (2)$$

$$\text{Кривая 3 СФТ} = 753\exp(-0.014 T_{2C}). \quad (3)$$

$$\text{Кривая 4 СФТ} = 610\exp(-0.055 \text{Пар}). \quad (4)$$

Как видно из кривой 4 для зависимости СФТ от концентрации парафина (*Пар*) с ростом его концентрации сигнал СФТ падает, что вполне объяснимо ростом поглощения лазерного излучения молекулами парафина. Это хорошо согласуется с зависимостями времен релаксации T_{2A} и T_{2B} (кривые 1, 2) – рост сигнала СФТ соответствует синхронному росту T_{2A} и T_{2B} т.е. уменьшению вязкости нефти и с увеличением прозрачности среды со снижением концентрации парафина. Согласно полученным зависимостям динамической вязкости η от $(T_{2A})^{-1}$ в стандартных образцах с вязкостями $\eta = 8.4$ мПа·с; $\eta = 26$ мПа·с и $\eta = 89$ мПа·с., представленным на рисунке 2 и изложенным в [3], вязкость η обратно пропорциональна T_{2A} :

$$\eta = 1.12(T/298 \cdot T_{2A})^{1.25}. \quad (5)$$

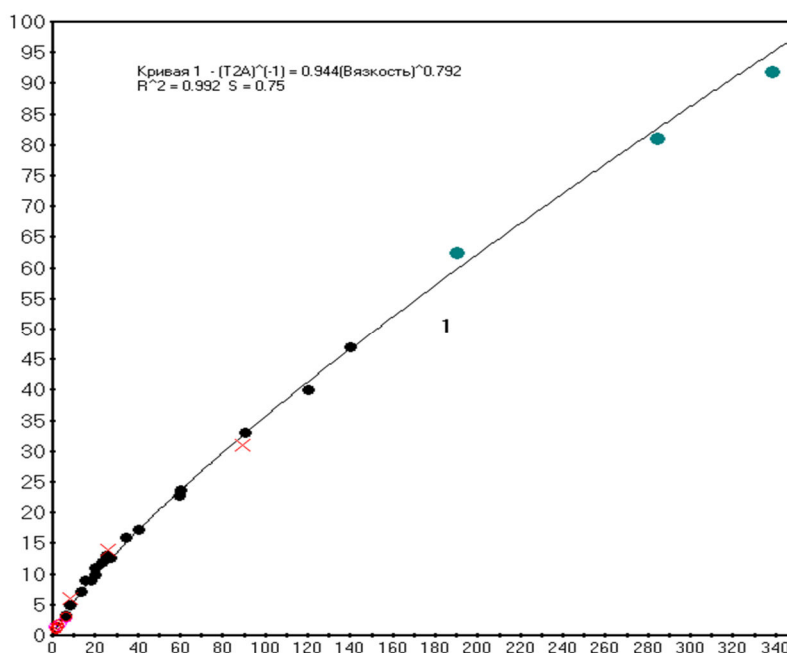


Рисунок 2 – Зависимость $(T_{2A})^{-1}$ от η (мПа·с). Точки (•, ◊, x) соответственно – для нефтей, алканов и стандартных образцов ВНИИМ им. Д.И. Менделеева

Но T_{2C} ведет себя антибатно – с укорочением T_{2C} растет СФТ, что может найти объяснение в рамках модели сложных структурных единиц (ССЕ) в нефти [1], согласно которой фазе *A* соответствуют молекулы масляной среды и время релаксации T_{2A} , фазе *B* – молекулы внешней (переходной) сольватной оболочки ССЕ с временем T_{2B} , фазе *C* – молекулы сольватной оболочки ядра ССЕ. Повидимому, ход кривой 3 свидетельствует о конденсации тяжелых линейных молекул парафинов в оболочке ядра ССЕ за счет оттока парафинов из среды и промежуточного слоя (фаз *A* и *B*) в фазу *C*, которой соответствует время релаксации T_{2C} .

Список литературы:

1. Козелков О.В., Кашаев Р.С. Приборные и мехатронные комплексы в нефтяной промышленности и энергетике : монография. – Махачкала : «Апробация», 2019. – 112 с.
2. Идиятуллин З.Ш., Кашаев Р.С., Темников А.Н. Патент РФ № 67719. G01N24/08. Заявка № 2007126361/22, 25.06.2007. Портативный релаксметр ЯМР. Опубликовано 27.10.2007. Бюл. № 30, 7 с.
3. Козелков О.В. Методы и средства экспресс-контроля скважинной жидкости и нефти на базе протонной магнитной резонансной релаксометрии : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / ФГБОУ ВО КГЭУ. – Казань, 2021.
4. Чижик В.И. Квантовая радиофизика. – СПб. : Университет, 2004. – 689 с.

УДК 66.074

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Китов
Егор Сергеевич

Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
аспирант
egorkitov3@gmail.com

Актуальность. На современном этапе в связи с сильным истощением нефтяных и газовых месторождений возникла острая необходимость в создании новых эффективных технологий по повышению добычи нефти и газа на эксплуатируемых объектах. Многие нефтяные и газовые месторождения находятся на последних стадиях разработки, для которых характерно падающее пластовое давление, высокая обводненность, увеличение количества механических примесей и влаги в добываемом углеводородном сырье. В результате возникает необходимость в разработке новых процессов и совершенствовании технологий промышленной подготовки природного газа.

Цель: анализ эффективных промышленных технологий, зарекомендовавших себя в подготовке природного газа с помощью диэтиленгликоля и безгликолевой подготовки в условиях промышленной эксплуатации.

Результаты. Выполнен анализ промышленных процессов и способов осушки природного газа: абсорбционная и адсорбционная осушка, низкотемпературная сепарация и технология сверхзвуковой сепарации газа от содержания влаги и механических примесей. Проанализированы особенности этих процессов, их свойства, технологические схемы, решения, а также достоинства и недостатки. Установлено, что применение абсорбционного процесса осушки природного газа от примесей воды позволяет получать осушенный газ до температуры точки росы по воде до -20 °С. Внедрение технологии адсорбционной осушки природного газа от примесей воды позволяет осушать газ до температуры точки росы по воде в интервале от -38 до -99 °С.

Ключевые слова: абсорбционная очистка, адсорбционная очистка, диэтиленгликоль, низкотемпературная сепарация, турбодетандер, сверхзвуковая сепарация, 3S-технология.

Природный газ представляет собой углеводородную смесь, состоящую из углеводородов и других неорганических соединений [1], которые при определенных термобарических параметрах инициируют реакции образования газогидратных отложений в трубопроводах и оборудовании, что может привести к локальным аварийным последствиям. В связи с этим актуальна разработка высокоэффективного метода и технологии подготовки газа на месторождении [2].

Для транспортировки природного газа проводится осушка с заданными термобарическими параметрами, чтобы получить товарный газ. Критерием безопасной транспортировки принята точка росы по влаге и углеводородам, соответствующая климатическим условиям на местности для предотвращения образования газогидратов [3].

На современном этапе развития эффективно себя зарекомендовали три способа подготовки природного газа для его успешной транспортировки по газопроводам:

1. Сорбционные способы осушки – абсорбционный и адсорбционный методы поглощения влаги.
2. Низкотемпературная сепарация газа, применяемая эффект Джоуля-Томсона.
3. Сверхзвуковая сепарация газа.

Абсорбционный метод получил наибольшее распространение осушки газа в РФ. В процессе абсорбции извлекаются целевые компоненты из газовой смеси жидким абсорбентом для получения заданной точки росы по воде и углеводородам от 15 до 50 °С. Применяют абсорбенты: диэтиленгликоль или триэтиленгликоль.

К абсорбенту применяются следующие требования:

- высокая селективность;
- большая поглотительная способность;
- низкая летучесть паров;
- удобство в работе;
- легкая регенерируемость [4].

Абсорбционный метод наряду с другими методами осушки газа имеет свои достоинства и недостатки, которые указаны в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Достоинства и недостатки абсорбционного процесса

Достоинства	Недостатки
низкие перепады давления	потери абсорбента
невысокие капитальные затраты	относительная сложность регенерации
осушка газов с веществами, разрушающими твердые сорбенты	средний уровень осушки

Происходит широкое развитие адсорбционного метода осушки газа. В качестве адсорбентов в промышленности применяют: силикагели, оксид алюминия, различные цеолиты. Геометрическое строение адсорбентов в виде шариков и гранул повышает эффективность за счет снижения сопротивления в газе [6, 7].

Загрузка цеолитов при эксплуатации сохраняет свои свойства по влагоемкости [8]. При использовании адсорбционной осушки газа температура точки росы по воде достигает от –38 до –99 °С.

Адсорбционный процесс имеет также достоинства и недостатки в промышленном применении осушки природного газа (табл. 2).

Таблица 2 – Достоинства и недостатки адсорбционного процесса

Достоинства	Недостатки
Долгий срок эксплуатации	Довольно высокие экономические и капиталоемкие затраты
Получение низкой температуры точки росы	
Надежность эксплуатации	

Принцип работы низкотемпературной сепарации газа заключается в эффекте Джоуля-Томсона: охлаждение газа дросселем при избыточном давлении и получении жидкой и газовой фазы путем разделения. Холод получают дросселированием, эжектированием и турбодетандерным оборудованием.

Результативность НТС зависит от применяемого источника холода. Длительная эксплуатация месторождений приводит к снижению пластового давления. Для понижения температуры на газоконденсатных месторождениях применяют изоэнтропийное расширение с детандерным оборудованием. Полезная работа детандера взамен дросселирования позволяет применять перепад давления и эксплуатировать более низкие температуры [9].

Сверхзвуковая сепарация газа или 3S-сепарация введена в опытно-промышленную эксплуатацию на нескольких месторождениях в РФ. Принцип работы состоит в использовании охлаждения газа в сверхзвуковом закрученном потоке природного газа. В сверхзвуковом потоке газа возникают температуры от –50 до –100 °С, что позволяет создать глубокое извлечение целевых компонентов из природного газа [10].

На современном этапе не изучены все свойства 3S-технологии, что не позволяет ввести массовое тиражирование в промышленную эксплуатацию в РФ.

Обсуждение:

Рассматривая приведенные методы осушки природного газа, можно отметить, что наиболее распространенным в РФ методом осушки является НТС с изоэнтальпийным расширением газа. Но этот метод требует совершенствования ввиду падения свободного пластового давления на многих эксплуатируемых месторождениях в РФ.

Список литературы:

1. Erdgas und erneuerbares Methan // Erdgas und erneuerbares Methan für den Fahrzeugantrieb. Der Fahrzeugantrieb / A. Wolany [et al.]; Ed. by R. van Basshuysen. – Wiesbaden : Springer Vieweg, 2015. – 182 p. – URL : https://doi.org/10.1007/978-3-658-07159-2_4
2. Джалилова С.Н., Ушева Н.В., Ерофеев В.И. Исследование и корректировка технологических режимов процессов подготовки нефтяного сырья // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 4. – С. 19–23.
3. СТО Газпром 089-2010 «Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия». – М. : ОАО «Газпром», 2010. – 19 с.
4. Carroll J. Natural gas hydrates: a guide for engineer. – Burlington, Gulf Professional Publ., 2020. – 400 p.
5. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии / А.И. Владимиров [и др.]. – М. : Недра, 2000. – 211 с.
6. Natural gas dehydration by desiccant materials / A.A. Farag Hassan [et al.] // Alexandria Engineering Journal. – 2011. – V. 50. – P. 431–439.
7. Northrop S., Sundaram N. Modified cycles, adsorbents improve gas treatment, increase molsieve life // Oil and Gas Journal. – 2008. – V. 106. – № 29. – P. 54–60.
8. Algieri C., Drioli E. Zeolite membranes: synthesis and applications // Separation and purification technology. – 2021. – V. 278. – P. 295–312.
9. Габдулов И.Н. Анализ низкотемпературной сепарации с изоэнтальпийным расширением газа // Научные исследования. – 2019. – № 5 (31). – С. 10–13.
10. Корытников Р.В., Яхонтов Д.А., Багиров Л.А. Промышленные испытания технологии сверхзвуковой сепарации на установке НТС УПМТ УКГП-1С Заполярного НГКМ // Нефтепромысловое дело. – 2012. – № 6. – С. 34–40.

УДК 504.7:061.3

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СКВАЖИН НА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА**Климов
Вячеслав Васильевич****Кубанский государственный технологический университет**
доцент кафедры нефтегазового дела имени профессора
Г.Т. Вартумяна, действительный член Международной
Академии технологических наук Российской Федерации
VVKlimov2010@gmail.com**Чертов
Виктор Андреевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
victory.tchertov@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен анализ перспективного способа контроля технического состояния скважин на нефтегазовых месторождениях и подземных хранилищах газа методом высокочувствительной и малоинерционной термометрии.

Ключевые слова: термометрия, тепловая инерция, погрешность, каротаж, скважина, чувствительность.

При контроле технического состояния скважин на нефтегазовых месторождениях и ПХГ широко используются геофизические методы, базовым из которых является метод термометрии, входящий во все комплексы геофизических исследований. Достоверность результатов метода термометрии в общем случае зависит от многих факторов:

- технических характеристик используемых скважинных термометров;
- теплофизических свойств горных пород в стволе скважины;
- качества подготовки скважин к проведению геотермических исследований.

Руководящий документ РД 153-39.0-072-01 – «Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ на кабеле в нефтяных и газовых скважинах» (М., 2001) регламентирует:

- основную погрешность измерения температуры – не более ± 2 °С;
- дополнительную погрешность измерения температуры за счет нагревания чувствительного элемента протекающим через него током – не более половины основной погрешности;
- постоянная времени – t не более 2 с.

Однако опыт показывает, что термометры, используемые для исследований в нефтяных скважинах, недостаточно эффективны при измерениях в газовых скважинах из-за низкой точности измерения и большой тепловой инерции. Таким образом, получение корректных результатов геотермических измерений становится возможным лишь при малых скоростях каротажа, что приводит к увеличению времени простоя скважин и финансовым потерям.

В данной работе основной целью был анализ способов повышения точности результатов геотермических исследований при проведении геотермических исследований на газовых скважинах и ПХГ, а также поиск технических решений по созданию высокочувствительного и малоинерционного скважинного термометра для поиска перетоков флюида в заколонном пространстве скважин.

Одним из таких решений является разделение функции получения информации и ее преобразования в форму, удобную для передачи по каналу связи – каротажному кабелю [1]. Для этого оказывается целесообразным:

- подключить термочувствительные элементы в противоположные плечи мостовой схемы;

– подключить измерительную диагональ моста к входам усилителя сигналов разбаланса, выход которого подключен к центральной жиле каротажного кабеля через импульсный преобразователь.

– применять усилитель сигналов разбаланса, что позволит в K раз увеличить приращение выходного напряжения моста (где K – коэффициент усиления дифференциального сигнала) при одинаковых изменениях температуры и получить необходимую чувствительность устройства при более низком напряжении питания.

Такие технические решение позволяют:

- кратно увеличить чувствительность мостовой схемы скважинного термометра;
- произвести компенсацию напряжения в измерительной диагонали до нулевого значения в начале диапазона измеряемых температур;
- получить большую стабильность «нуля»;
- изменять границы диапазона измерений, не меняя при этом сами термочувствительные элементы.

Одновременно с усилением в K раз сигналов разбаланса мостовой схемы, происходит подавление синфазных помех и наводок, что позволяет термочувствительные элементы конструктивно располагать на значительном расстоянии от остальных узлов и конструктивно располагать их в выгодных условиях, исключая воздействие на них других элементов электрической схемы.

На рисунке 1 показано схематическое изображение предлагаемого устройства, где:

- 1 – измерительный мост с термочувствительными элементами R_{t1} и R_{t2} , включенными в противоположные плечи мостовой схемы;
- 2 – стабилизатор напряжения питания мостовой схемы, усилителя сигналов разбаланса и импульсного преобразователя;
- 3 – усилитель сигналов разбаланса;
- 4 – балластный резистор стабилизатора напряжения питания;
- 5 – импульсный преобразователь (преобразователи «напряжение – частота», «аналог – время», «аналог – код», «аналог – цифра» и т.п.);
- 6 – конденсатор связи выхода импульсного преобразователя с бронированным кабелем;
- 7 – каротажный кабель;
- 8 – резистор нагрузки каротажного кабеля со стороны блока обработки информации (наземной панели);
- 9 – конденсатор связи каротажного кабеля с блоком обработки информации;
- 10 – ограничитель тока.

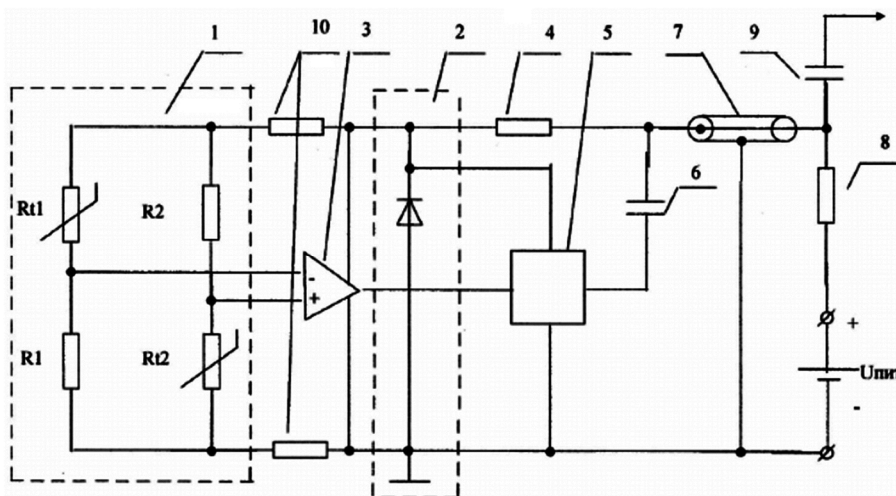


Рисунок 1 – Схематическое изображение предлагаемого скважинного термометра

На базе схемы, приведенной на рисунке 1, был разработан опытный образец скважинного малоинерционного высокочувствительного термометра ВМСТ–1 [2]. Со-

поставительские испытания были проведены в одинаковых условиях и в реальной скважине с серийным термометром ТР7-341, нашедшим широкое применение в отрасли. Результаты испытания представлены на фрагментах термограмм на рисунке 2.

Сопоставление кривых реакции данных термометров на скачок температуры в момент перехода из воздуха в воду свидетельствует о том, что термометр ТР7-341 в момент перехода показал «размазанные» данные по глубине скважины на 12,5 метрах, а показания термометра ВМСТ – 1 установились на 0,85 м. Таким образом, можно сделать вывод о том, что тепловая инерция серийного термометра ТР7 – 341 многократно превышает тепловую инерцию опытного термометра ВМСТ – 1.

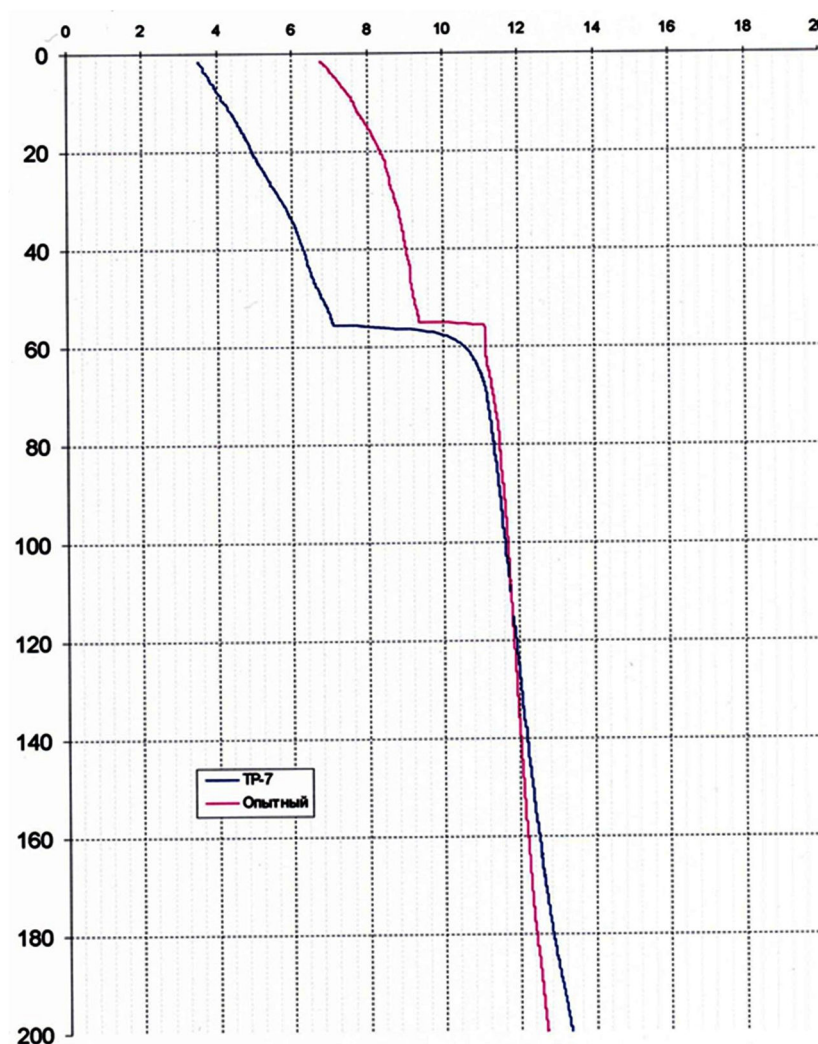


Рисунок 2 – Реакция термометров ТР-7 и опытного образца малоинерционного термометра ВМСТ-1 на скачок температуры в момент перехода из воздуха в воду

Данный принцип построения измерительной схемы позволяет:

- осуществлять измерение собственно приращений температуры в любой точке температурного диапазона;
- применить низкоомные высокоточные термочувствительные элементы малой массы и с малой тепловой инерцией, серийно выпускаемые отечественной промышленностью (термометрические элементы типа ЭТВ-1, ЭТВ-2, ЭТВ-3, ЭТВ-М4, ЭТВ-М5, ЭТВ-М6 и др.);
- повысить точность измерения теплового поля вдоль оси скважины.

Кроме того, благодаря кратному снижению тепловой инерции термометра ВМСТ – 1 по сравнению с серийным ТР7 – 341, оказывается возможным (при прочих равных условиях) также повысить допустимую скорость каротажа, уменьшить время простоя скважин, финансовые потери и затраты на проведение геофизических исследований.

Вывод: Высокая чувствительность и малая инерционность термометра ВМСТ-1 позволяет рекомендовать его для проведения геотермических исследований как в нефтяных, так и в газовых скважинах.

Список литературы:

1. Пат. 2193169 Российская Федерация, 7 G 01 K 7/24 Устройство для дистанционного измерения температуры/ В.В. Климов; заявитель и патентообладатель ООО «Кубаньгазпром». – № 2000117016, заявл. 27.06.2000; опубл. 27.06.2000;
2. Новые технические средства, технологии и методология геолого-геологофизического контроля технического состояния крепи газовых и газоконденсатных скважин, в том числе и скважин с аномально высокими пластовыми давлениями и температурами / М.Г. Гейхман [и др.]. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2011. – 263 с.

УДК 622.32+539.1

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ
ДЛЯ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛЕЙ
В КАПЛЯХ ВОДЫ ВОДО-НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ****Козелкова
Валерия Олеговна**Казанский государственный энергетический университет
магистр
K29213@yandex.ru**Кашаев
Рустем
Султанхамитович**Казанский государственный энергетический университет
доктор технических наук, профессор
kashaev2007@yandex.ru**Козелков
Олег Владимирович**Казанский государственный энергетический университет
кандидат технических наук, доцент
ok.1972@list.ru

Аннотация. В статье предложено теоретическое обоснование и описание метода определения концентрации солей в воде капель водо-нефтяных эмульсий использованием левитации капель в неоднородном магнитном поле. Метод основан на определении разности между плотностью воды в капле и плотностью парамагнитного раствора, в котором левитирует одиночная капля. Выведена формула для определения концентрации солей от положения капли в ячейке, проведены экспериментальные исследования, подтверждающие правомочность использования метода.

Ключевые слова: соли, вода, капля, магнитный, левитация.

Проблема простого и быстрого контроля концентрации солей в воде капель водо-нефтяных эмульсий достаточно остро стоит в лабораториях при установках очистки сырой нефти от воды, не имеющих оборудования для контроля по гостам MOD – 4100 S и электрометрическим методом по ASTM D-3230. В лабораториях вузов и нефтегазодобывающих управлений в последнее время используются также методы протонного магнитного резонанса [1], что требует сложного оборудования и квалифицированного персонала. Метод магнитной левитации (МЛ) открывает возможности определения плотности диамагнитных веществ по их левитации в парамагнитном растворе в неоднородном магнитном поле. Технология применима к диапазону плотностей $\rho = 0.8 \div 3 \text{ г/см}^3$ с точностью до $\pm 0.02 \text{ г/см}^3$ [2].

Соли сконцентрированы в основном в пластовой воде, которая в водо-нефтяных эмульсиях содержится в каплях, причем концентрация солей C в каплях может отличаться от концентрации солей в пластовой воде [3]. Нами предложено применить технологию магнитной левитации для измерений концентраций солей C непосредственно в каплях. Технология, названная нами *MagDens* может найти применение в лабораториях нефтепромыслов в парках подготовки нефти.

Предложенная установка для *MagDens* состоит из двух магнитов на сплаве *NdFeB* и магнитным полем $B_0 = 0.3 \text{ Тл}$, габаритами $50 \text{ мм} \times 50 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$, расположенных вертикально встречно магнитными полюсами на расстоянии $d = 45 \text{ мм}$ и ячейки с раствором соли $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, в которой находится одиночная водная капля из эмульсии.

Во время левитации на капли воды с раствором солей действуют три силы: магнитная ($F_{\text{маг}}$), выталкивающая ($F_{\text{выт}}$) и сила трения ($F_{\text{тр}}$). Капля находится в состоянии левитации при условии, если сумма сил равна 0:

$$F_{\text{маг}} + F_{\text{выт}} + F_{\text{тр}} = 0. \quad (1)$$

Капля удерживается во взвешенном состоянии под действием силы $F_{\text{маг}}$ поскольку диамагнетик всегда выталкивается из сильного поля в слабое:

$$\mathbf{F}_{\text{маг}} = (\mathbf{M} \cdot \nabla) \mathbf{B}_0 \text{ или } F_{\text{маг}} = M_z dB/dz, \quad (2)$$

где ∇ – оператор набла; \mathbf{M} – магнитный момент капли пропорциональный объему капли V и вычисляемый по формуле:

$$\mathbf{M} = V \Delta \chi \mathbf{B} / \mu_0, \quad (3)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная вакуума, $\Delta \chi$ – разница магнитных восприимчивостей χ_s диамагнитной капли и χ_m парамагнитного раствора.

На каплю в ячейке действует также выталкивающая сила:

$$\mathbf{F}_{\text{выт}} = V \Delta \rho \mathbf{g}, \quad (4)$$

где $\Delta \rho = \rho_k - \rho_c$ – разность плотностей воды в капле и в парамагнитном растворе.

При движения со скоростью v на каплю действует сила трения:

$$\mathbf{F}_{\text{тр}} = 6\pi R \eta f_D v, \quad (5)$$

где R – радиус капли, η – динамическая вязкость парамагнитного раствора, коэффициент трения f_D , который мы принимаем равным 1 для квазинепо движной капли.

В состоянии равновесия капли можно записать:

$$(V \chi_m / \mu_0) (B_x \partial B_z / \partial x + B_y \partial B_z / \partial y + B_z \partial B_z / \partial z) = V (\rho_s - \rho_m) g, \quad (6)$$

Где в нашем случае $\chi_c \approx 4 \cdot 10^{-6}$, $\chi_s \approx 3.2 \cdot 10^{-4}$ М⁻¹. Действующие силы можно записать в виде выражения:

$$\mathbf{F}_{\text{маг}} + \mathbf{F}_{\text{выт}} = (\rho_k - \rho_c) V \mathbf{g} + 1/\mu_0 (\chi_s - \chi_m) V (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B} = 0. \quad (7)$$

Эти две силы балансируют вдоль оси между магнитами (рис. 1).

Из ур. (6, 7) высота положения h капли пропорциональна $\Delta \rho$ и определяется из уравнения:

$$h = \{[(\rho_k - \rho_c) g \mu_0 d] / [(\chi_s - \chi_m) 4 B_0^2] + d/2\}. \quad (8)$$

Измеряя h и используя ур. (8) можно определить $\Delta \rho = (\rho_k - \rho_c)$ из уравнения:

$$(\rho_k - \rho_c) = (2h - d) [(\chi_s - \chi_m) 4 B_0^2 / 2 g \mu_0 d]. \quad (9)$$

h (см)

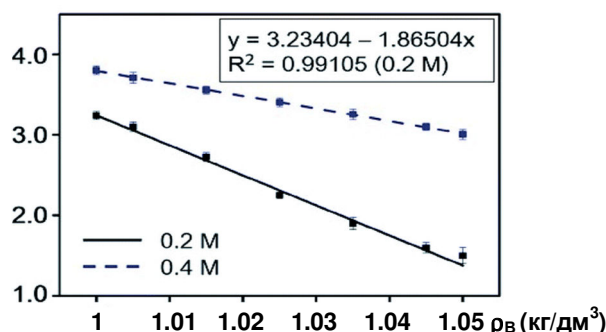


Рисунок 1 – Зависимость h высоты левитации капли в растворе 0.2 М (сплошная прямая) и 0.4 М (пунктирная) $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ от плотности воды в капле

Определив плотность ρ_k и зная плотность парамагнитного раствора ρ_c , можно по известным соотношениям между плотностью раствора и концентрацией солей пластовой воды [3] $0.73 \cdot \text{NaCl} + 0.2 \cdot \text{CaCl}_2 + 0.07 \cdot \text{MgCl}_2$ определить плотность воды ρ_k в капле, и из уравнения, устанавливающего зависимость между ρ_k и концентрацией солей:

$$\rho_K = 0.9976 + 0.0074C \quad (10)$$

определять C в диапазоне C (М) = 0 – 6 М со среднеквадратическим отклонением СКО ≈ 0.3 . Оценка погрешность метода *MagDens* показала, что метод не хуже метода ПМР-релаксометрии [1], но проще и экономически предпочтительнее.

Список литературы:

1. Козелков О.В., Кашаев Р.С. Приборные и мехатронные комплексы в нефтяной промышленности и энергетике. – Махачкала : Апробация, 2019. – 112 с.
2. Mirica K.A., Shevkoplyas S.S., Phillipset S.T. // Journal of American Chemical Society. – 2009. – № 131. – P. 10049.
3. Технологии экспресс-контроля и очистки нефти от примесей в мехатронной установке с управлением от приборно-программного комплекса на базе ПМР-релаксометрии / О.В. Козелков [и др.] // Химическая технология. – 2022. – Т. 23. – № 3. – С.131–137.

УДК 622.243.24

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА БУРОВОГО РАСТВОРА В ЭКСЦЕНТРИЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ

Ламбин
Анатолий Иванович

Иркутский национальный исследовательский
технический университет
кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела
alambin@ex.istu.edu

Аннотация.

Актуальность. Большой интерес к изучению закономерностей формирования потока жидкости в эксцентричном кольцевом пространстве связан с необходимостью решения практических задач во многих областях науки и техники. Геометрия кольцевого пространства формирует особенности потока, влияющие на характер течения жидкости в зазоре между цилиндрическими поверхностями. При аналитическом подходе к решению задач размеры высот зазора определяются по приближенным формулам.

Целью является геометрическое представление высот кольцевого зазора и анализа их распределения по окружности с целью поиска более точной формулы расчета локальной высоты зазора и интерпретация распределения в рамках потоковых параметров с привлечением логистических функций.

Объектом исследования является эксцентричный кольцевой зазор между стволом скважины и бурильными трубами, формирующий поток бурового раствора с его гидравлическими параметрами.

Методы: размерный и аналитический анализ распределения высот кольцевого зазора с привлечением сигмоидальных функций. Интегро-дифференциальный перевод локальных размеров зазора в локальные гидравлические характеристики потока жидкости.

Результаты. В результате размерного анализа предложена более точная формула вычисления высот зазора. Доказана идентичность размерного распределения высот эксцентричного кольцевого зазора распределению локальных скоростей кольцевого потока. Определены логистические функции их распределения для зазоров с полным и неполным эксцентриситетами. Для геометрии кольца с неполным эксцентриситетом предложен алгоритм построения четырехпараметрической логистической функции, а с полным эксцентриситетом – трехпараметрической функции. Показана пропорциональность величины локальной высоты зазора локальной скорости.

Ключевые слова: кольцевой зазор, эксцентриситет, сигмоида, логистическая функция, наклонно направленная скважина.

Введение

Факторы, определяющие качество очистки вертикальных и наклонно-направленных скважин, в основном, идентичны. Однако в искривленных скважинах воздействие потока жидкости на вынос шлама несколько иное, что приводит к его накоплению на нижней стенке ствола скважины, и этот факт вызывает иногда нежелательные последствия при углублении забоя скважины. Это и определяет не исключаемый интерес исследователей к гидромеханике потока жидкости при сооружении наклонных и горизонтальных скважин для выявления закономерностей транспорта шлама, вытеснения бурового раствора при цементировании скважины, проявления застойных зон и т.п. [1, 2].

Основными параметрами, определяющими конкретную схему течения, являются скорость жидкости, загрузка твердыми частицами, физические свойства жидкости и твер-

дых частиц, угол наклона, форма и размер поперечного сечения канала, определяющие граничные условия течения потока. Эти условия обуславливаются геометрией эксцентричного пространства. Такая геометрия инициирует научный интерес не только в нефтегазовой отрасли при сооружении и эксплуатации скважин, но и в машиностроении при смазке подшипников, в медицине при вводе катетеров в аорту и в других областях.

Методы исследования

Цилиндрическая кольцевая геометрия образует базовую модель для анализа гидродинамических характеристик, представляющих интерес для проектирования технологии промывки при сооружении скважины. Жидкость течет в зазоре, образованном двумя цилиндрическими поверхностями, центры которых размещены с некоторым эксцентриситетом.

Параметры эксцентричного пространства, в котором течет промывочная жидкость при бурении наклонно направленной скважины, представлены на рисунке 1.

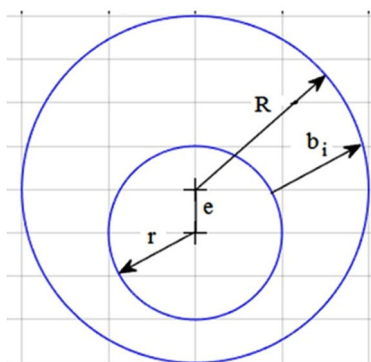


Рисунок 1 – Схема эксцентричного пространства наклонно направленной скважины: R – радиус скважины или обсадной колонны; r – радиус буровой колонны; e – эксцентриситет; b_i – размер зазора

Зазор между поверхностями может быть создан путем увеличения отношения радиусов (a) или эксцентриситета (e), их эффект может быть разным.

Неравномерное распределение потока из-за геометрических изменений (зазор характеризуется своей узкой и широкой частью) моделируется этим соотношением радиусов в кольцевом канале. Таким образом, изучение комбинированного влияния как отношения радиусов (a), так и эксцентриситета (e) приобретает важное значение как для расчета потери давления в кольцевом пространстве, так и для оптимизации очистки ствола.

Цель исследования: изучение влияния эксцентриситета на распределение потока массы в кольцевой эксцентричной области.

Следует отметить, что при одинаковой площади проходного сечения (концентричное и эксцентричное расположение центров кольцевого пространства) и одном и том же перепаде давления расход жидкости с ростом до полного эксцентриситета увеличивается в 2,5 раза [3]:

$$\frac{v_э}{v_к} = 1 + \frac{3}{2} \left(\frac{e}{R_2 - R_1} \right)^2, \quad (1)$$

где $v_э$ – средняя скорость эксцентричного ламинарного потока жидкости при $e = R - r$; $v_к$ – средняя скорость концентричного ламинарного потока жидкости. При турбулентном режиме эта величина уменьшается до 1,2 раза. Если провести такое же сравнение потерь давления при $Q_э = Q_к$, то оно дает [3]:

$$p_э = \frac{2}{5} p_к = 0,4 \cdot p_к, \quad (2)$$

где $Q_э$ – расход жидкости при эксцентричном потоке; $Q_к$ – расход жидкости при концентричном потоке; $p_э$ – давление при эксцентричном потоке; $p_к$ – давление при концентричном потоке.

Однако это сравнение проведено для воды с отношением радиусов $r/R = 0,5$.

Реальные условия значительно отличаются от показанных выше, в основном, по физико-механическим свойствам современных буровых растворов и их реологией, что составляет основу разработки технологии приготовления промывочных систем и технологии их применения в промышленных условиях.

Многообразие условий течения жидкостей в эксцентричном зазоре определяет информационную неопределенность в исследовании механизмов течения, которая раскрывается путем создания математических моделей, большинство из которых составляют приближенные CFD модели (*Computational Fluid Dynamics*), большая часть из них зависит от профиля скорости и силы трения. Однако вычислительные трудности и нестабильность компьютерной модели при больших эксцентриситетах ограничивают диапазон исследований. В этих случаях исследователи прибегают к аналитическим вычислениям, в частности, в рассматриваемом случае к определению распределений гидродинамических характеристик течения жидкости по поперечному сечению ее потока. Эти распределения, в свою очередь, зависят от распределения размеров кольцевого эксцентричного зазора. Величину зазора определяют, используя различные формулы. Для весьма малых зазоров применяется приближенная формула [4–6]:

$$b_i = R - r + c \cdot \cos\varphi, \quad (3)$$

где b_i – величина зазора; R , r – радиусы, соответственно, внешней и внутренней границ эксцентричного пространства скважины; c – величина эксцентриситета ($R - r$); φ – угол, определяющий положение вычисляемого зазора.

Обозначив разность радиусов через $b_0 = R - r$ и относительный эксцентриситет через $\varepsilon = \frac{e}{b_0}$, величина зазора b_i преобразуется к виду:

$$b_i = b_0(1 - \varepsilon \cdot \cos\varphi). \quad (4)$$

Однако это выражение приемлемо по точности вычислений при малой площади зазора.

Более точной зависимостью, с помощью которой определяется величина зазора, является [4, 7, 8, 9]:

$$b_i = (R - r) \cos\varphi - r + \sqrt{R^2 - (R - r)^2 \sin^2\varphi}$$

или, при обозначенном эксцентриситете:

$$b_i = \sqrt{R^2 - c^2 \cdot \sin^2\varphi} - r + c \cdot \cos\varphi. \quad (5)$$

В тех случаях, когда исследования характеристик жидкостного потока ведутся по секторам эксцентричного зазора с применением CFD моделирования, как, например, в [10, 11, 12] граничные условия включают в себя значения зазоров. В таких случаях важность определения размеров зазора становится значимой. При этом повышаются требования к точности вычисления значений зазора.

Далее предлагается рассмотрение расчетной схемы для установления более точной формулы вычисления значений величины зазора.

Кольцевой эксцентричный зазор разбивается на желаемое число секторов. В данном случае, исходя из симметричности схемы относительно вертикальной оси, правая полуокружность разделена на $n = 10$ секторов. Каждую границу сектора можно представить в виде неизвестной стороны треугольника, которая состоит из радиуса r малой окружности и вычисляемого значения b_i величины зазора (рис. 2).

Остальные стороны рассматриваемого треугольника, как геометрического объекта, представляют собой радиус большой окружности R и эксцентриситет e .

Угол φ ($0 \leq \varphi \leq \pi$) определяется значением $\pi/n \cdot n_i$ ($i = 0 \dots n$). Используя теорему косинусов и вышеуказанные обозначения, получаем формулу:

$$b = \sqrt{e^2 + R^2 - 2eR \cos\varphi} - r. \quad (6)$$



Рисунок 2 – Выделение в схеме треугольника с искомой стороной

Точность вычислений по предложенной формуле по сравнению с соответствующими значениями натурального эксперимента определяется точностью производства арифметических действий. В таблице 1 представлены значения измеренных и вычисленных по формулам значений зазоров при неполном эксцентриситете цилиндрических поверхностей. Если считать ошибки от арифметических действий при вычислении по формулам одинаковыми, то можно заметить существенную разницу в сравниваемых значениях зазоров. Измерение высоты зазора каждого сектора выполнялось на кольце с параметрами $R = 50$, $r = 30$, $e = 12$.

Таблица 1 – Сравнение измеренных и вычисленных значений зазоров

Порядковый номер сектора зазора / The ordinal number of the gap sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение / Measured value	8	9	12	16	21	25	29	32	33	34
Вычисленное значение по формуле (6) / Calculated value to the formula (6)	8	9	12	16	21	25	29	32	33	34
Вычисленное по формуле (5) / Calculated value to the formula	8,000	8,555	10,209	12,908	16,50	20,667	24,908	28,594	31,108	32

Графическое отображение данных таблицы представляет существенный интерес (рис. 3). Кривая data 3 отображает формулу (5), а кривая data 1 – формулу (6). При таком расположении кривых затруднено их визуальное сравнение. Выявленная особенность формулы (5) позволила устранить это затруднение. Путем изменения знака у последнего слагаемого формулы (5) на «-» получено обратное графическое отображение кривой data 3 на data 2. Это позволяет визуально оценить ошибку вычислений по формуле (5). На графике видно, что вычисленные по формулам начальные значения зазоров почти совпадают, тогда как в последующих точках ошибка вычисления по формуле (5) остается примерно одинаковой, о чем свидетельствует почти параллельность сравниваемых кривых.

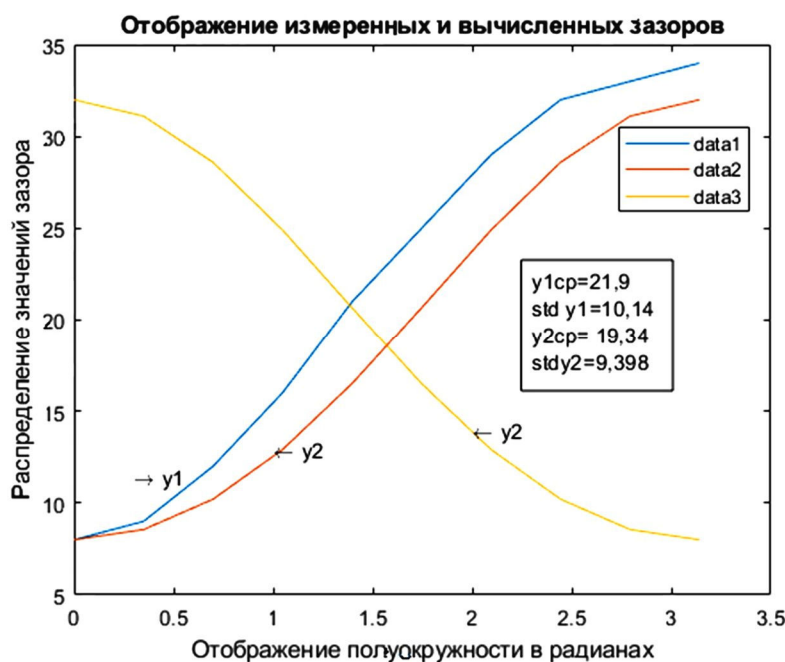


Рисунок 3 – Графическая иллюстрация разности вычислений величины зазора по формулам (5) и (6): $y_1, data_1$ – измеренное и вычисленное значение; $y_2, data_2$ – вычисленное по формуле 5; $data_3$ – вычисленное значение по формуле 5

На блочной вставке рисунка 3 представлены статистические характеристики кривых: среднее значение и стандартное отклонение, которые мало отличаются друг от друга. Это подтверждается также расчетом t-критерия Стьюдента, который оказался равным 0,5014, что значительно меньше его критического значения при числе степеней свободы, равному для рассматриваемого случая 18 при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Возможно, при рассмотрении других случаев ошибка может оказаться значимой. Однако, ошибка, определенная по графическим данным в рассматриваемом случае, составляет примерно 12,7 %. В любом случае использование более точной формулы повышает достоверность выводов исследований.

Как указывалось ранее при одной и той же площади сечения с увеличением эксцентриситета происходит увеличение расхода жидкости при постоянном перепаде давления. Средняя скорость течения жидкости определяется отношением объемного расхода к площади зазора. Однако, более широкую информацию для анализа потока дает распределение локальных скоростей в зазоре от меньших их значений в узкой его части до больших в широкой области зазора [13, 14].

В потоке между ограничивающими твердыми границами всегда можно определить среднюю скорость по любому сечению путем деления общего расхода на площадь сечения.

При плоском движении жидкости (поток параллелен ограничивающим его стенкам) все характеристики потока зависят от двух координат и времени. Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости в этом случае имеет вид [15]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение линий тока для плоского движения

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v}, \quad (8)$$

можно переписать в виде

$$-vdx + udy = 0, \quad (9)$$

что является полным дифференциалом некоторой функции $\psi(x, y)$:

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy = 0. \quad (10)$$

Сопоставляя (9) и (10), получаем

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad -v = \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (11)$$

Дифференцируя первое соотношение из (11) по x , а второе – по y , находим

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial y \partial x}; \quad -\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y}.$$

Используя уравнение неразрывности (7), можно записать

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial y \partial x} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y}.$$

Отсюда следует, что функция $\psi(x, y)$ существует и ее дифференциал является полным дифференциалом. Кроме того, из дифференциального уравнения линий тока (9) имеем

$$d\psi = 0.$$

Интегрируя это соотношение, получим

$$\psi = C = \text{const}. \quad (12)$$

Это свидетельствует о том, что во всех точках данной линии тока функция тока ψ сохраняет постоянное значение.

На рисунке 4 показана разность функций тока на двух линиях тока при течении жидкости внутри эксцентричного кольцевого зазора. Ширина потока берется в направлении, перпендикулярном плоскости движения. Обозначим элементарный расход жидкости через единицу ширины потока между двумя бесконечно близкими линиями тока как dq . Этот расход можно определить следующим образом:

$$dq = -v dx + u dy = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy, \text{ или } dq = d\psi.$$

Интегрируя это соотношение, получим

$$q = \int_1^2 d\psi = \psi_2 - \psi_1.$$

Последнее выражение свидетельствует о том, что разность функций тока на единице ширины потока равна расходу жидкости между двумя соответствующими линиями тока.

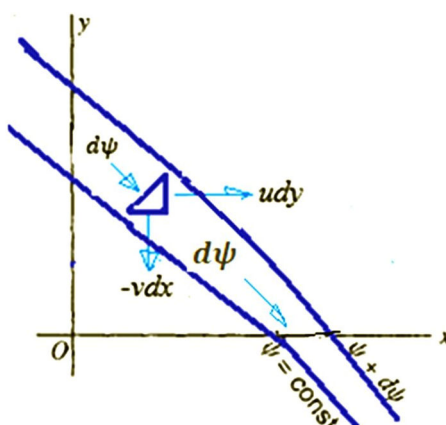


Рисунок 4 – Функция тока

Отсюда локальная величина зазора прямо пропорционально соответствует локальному значению скорости. Следовательно, кривые распределения секторных значений кольцевого зазора соответствуют также кривым секторного распределения скорости жидкости.

Вид кривых распределения, теперь уже скорости течения в кольцевом зазоре, напоминает букву «S». Такая кривая отображает гладкую монотонно возрастающую

нелинейную функцию, называемую сигмоидой и предназначенной для «сглаживания» значений некоторой величины.

Особенностью сигмоиды является, как видно из рис.3, наличие асимптот – нижней и верхней, что важно для функций «накопления». Нижняя асимптота свидетельствует о нелинейном росте значений функции с постепенным переходом в прямолинейную часть, где значения функции растут с постоянным коэффициентом. Затем этот рост начинает нелинейно убывать с переходом в верхнюю асимптоту. Асимптотные части сигмоиды также обладают важной информацией.

Существует множество форм сигмоидных функций, из которого выделяется ряд функций, называемых логистическими [16, 17].

В изучении потоковых процессов и их использования сформировался логистический подход управления такими процессами. Сущность подхода заключается в интеграции отдельных участков логистического процесса в единую систему, позволяющую оптимизировать материальный поток.

В бурении скважин промывочные агенты представляют собой материальный поток, оптимизация которого позволяет решать многие проблемы строительства скважины.

В нашем случае рассмотрения распределения скорости потока в эксцентричном зазоре для конкретных геометрических условий (эксцентricность и отношение диаметров цилиндрических поверхностей), определяющие кинематику и, в целом, состояние потока, необходимо это состояние фиксировать в виде сигмоидальной функции с целью дальнейшего улучшения потока путем изменения свойств жидкости для достижения оптимальных условий проводимой операции. При этом может возникнуть комплекс математических задач, решая которые может быть создана интегрированная система, обеспечивающая технологический и экономический выигрыш за счет качественного изменения управления материальным потоком.

Одним из примеров аппроксимации данных может служить обобщенная логистическая функция [18]:

$$y = C + \frac{K}{1+e^{-ax+b}}, \quad (13)$$

где C – постоянная составляющая, нижняя асимптота; K – параметр емкости, определяющий верхнюю асимптоту; a – параметр темпа роста; b – сдвиг, определяющий положение кривой на оси x . Формирование вида логистической функции производилось для кольца с неполным эксцентриситетом с параметрами $R = 55$, $r = 40$, $e = 8$.

Для нашего случая разбиения полуокружности на девять секторов при неполном эксцентриситете с целью аппроксимации экспериментальных данных (вторая строка таблицы 1) применим обобщенную логистическую функцию в виде:

$$y = C + \frac{K-C}{(1+a \exp(-b(x-x_0)))^{\frac{1}{b}}}, \quad (14)$$

где C – начальное значение экспериментальных величин скорости потока; K – конечное значение величин скорости потока; a и b – параметры, требующие подгонки; x_0 – примерно, медианная величина значений углов секторов.

В результате подгонки указанных параметров получена логистическая функция в виде:

$$y = 7 + (22,5 - 7,2)/(1 + 0,7e^{x-1,65})^{0,9}. \quad (15)$$

На рисунке 5 представлено графическое отображение этой логистической функции. Как видно из рисунка точность аппроксимации весьма приемлема. При приближении к концам сигмоиды значения y имеют тенденцию слабо реагировать на изменения в x . Это означает, что градиент в таких областях принимает небольшие значения.

Выражение (15) представлено для аппроксимации границ секторов эксцентричного зазора при неполном эксцентриситете. В таблице 2 показаны измеренные значения границ десяти секторов, распределенных в кольцевом эксцентричном зазоре при полном эксцентриситете. Для этого использовалось кольцо с параметрами $R = 55$, $r = 32$, $e = 23$.

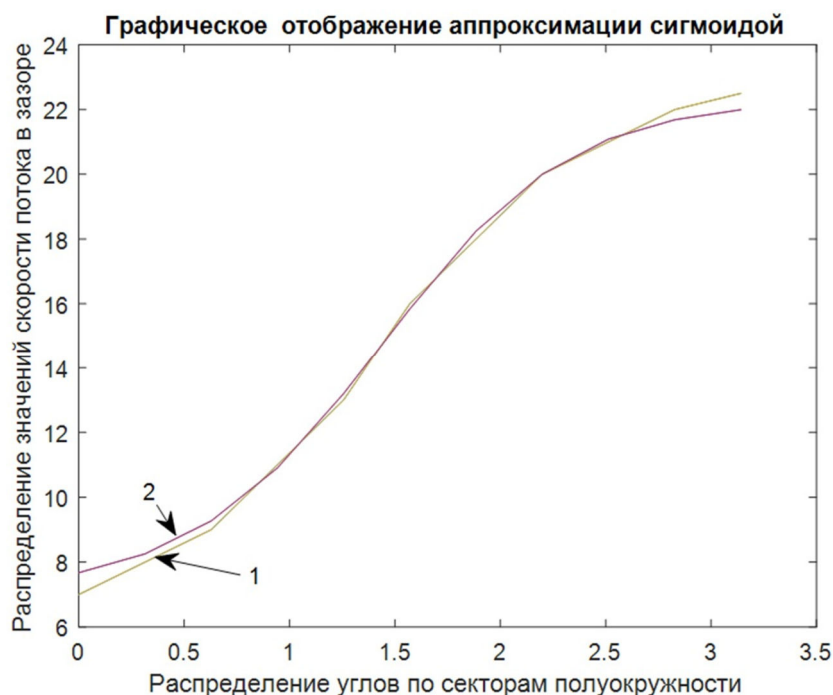


Рисунок 5 – Иллюстрация аппроксимации экспериментальных значений с помощью логистической функции: 1 – отображение экспериментальных значений скорости потока жидкости; 2 – кривая логистической функции

Таблица 2 – Измеренные значения зазоров при полном эксцентриситете

Порядковый номер сектора зазора / The ordinal number of the gap sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Угловое значение границ секторов (x) / Angular value of sector boundaries (x)	0	0,314	0,628	0,944	1,257	1,571	1,885	2,199	2,513	2,827	3,142
Измеренное значение b_i – зазора в секторе i / The measured value of the b_i -gap in sector i	0	0,5	2,5	6	12	18	25	32	40	45	47

Аппроксимация табличных данных представляется трехпараметрической логистической функцией в виде:

$$y = K / (1 + e^{-a(x-x_0)})^b. \quad (16)$$

Модель высоты i -го сектора (табл. 2) кольцевого эксцентричного зазора в виде логистической функции после подгоны параметров последней представлена выражением (17):

$$y = 47 / (1 + e^{-2(x-1,75)})^{1,1}. \quad (17)$$

Кривая 2 на рисунке 6 отображает эту модель. Из рисунка видно, что отображение кривой распределения высот секторов (кривая 1) достаточно точное, но аппроксимация кубическим полиномом (кривая 3) более точна, однако коэффициенты полинома не имеют предметной (технологической) интерпретации.

Площади секторов соответствуют размерам их границ и определяются по формуле

$$s_{b_i} = \frac{\pi(R^2 - r^2)b_i}{\sum b_i}. \quad (18)$$

Имея распределение скорости потока промывочной жидкости по эксцентричному кольцевому зазору, можно решать ряд технологических задач строительства скважины.

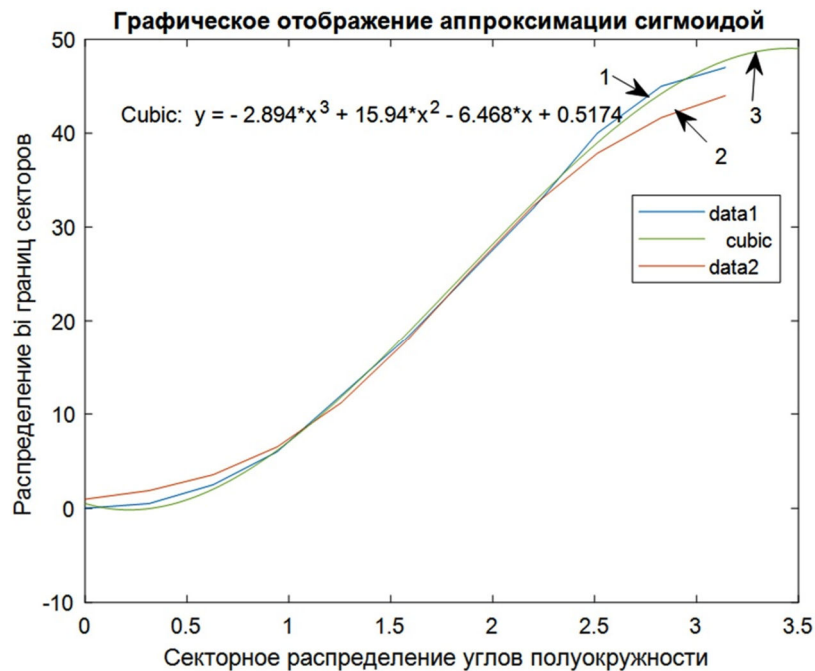


Рисунок 6 – Графическое отображение измеренных значений и их аппроксимация символьной функцией и кубическим полиномом: 1, data₁ – измеренное значение; 2, data₂ – вычисленное значение; 3, data₃ – аппроксимация кубического полинома

При запроектированном расходе Q и, учитывая рассмотрение потока на полуокружности, скорость потока жидкости в секторе равна

$$v_i = \frac{Q \cdot s_{b_i}}{2\pi(R^2 - r^2)}. \quad (19)$$

К примеру, в [3, 19–21] ставится задача определения застойных зон или «заилена» эксцентричных труб. Такие задачи решаются путем расчета касательных напряжений на стенках канала. Однако в предлагаемом ими решении вводятся геометрические параметры, формирующие поток жидкости (эксцентриситет, отношение радиусов цилиндрических поверхностей). В нашем случае оценка влияния этих параметров на формирование потока опосредуется логистической функцией, которая отражает градиент скорости потока по направлению углового распределения кольцевого эксцентричного пространства. Имея значения скорости в пределах нижней асимптоты кривой логистической функции, рассматриваемой в сопряженной части кольцевого зазора при полном эксцентриситете, можно перейти к рассмотрению сдвиговых [22] условий с учетом реологических моделей жидкости. Результатом рассмотрения должны быть размеры области отсутствия движения, которые и определяют застойную зону.

Заключение

Течение в эксцентричном кольцевом канале заменяется течениями в конечном числе секторов эксцентричного кольцевого канала, движение в котором происходит независимо под действием общего перепада давления. Для определения размеров секторов предложена точная формула вычисления высоты сектора. Построение графика распределения высот зазора по углу их расположения в выделенной полуокружности выявило кривую в виде сигмоиды. Такое распределение отмечается при любой геометрии эксцентричных зазоров. Непрерывное распределение высот зазора предложено отображать логистической функцией, параметры которой воспроизводят геометрию эксцентричного пространства. Показана прямая пропорциональность локальной высоты зазора локальной величине скорости потока. Логистическая функция отражает конфигурацию потока и позволяет извлекать необходимую информацию для управления потоком жидкости в эксцентричном кольцевом зазоре. Для исследования потоков при полном эксцентриситете предлагается использовать трехпараметрическую логистическую функцию, а при частичном – четырехпараметрическую. Логистическая функция кроме указанного выше отображает так называемую емкость потока, которая представляет собой системный фактор, определяющий ограниченность изменения высоты зазора при данном геометрическом состоянии.

Список литературы:

1. Kelessidis V.C., Bandelis G.E. Flow patterns and minimum suspension velocity for efficient cuttings transport in horizontal and deviated wells in coiled-tubing drilling // SPE Drilling & Completion. – 2004. – V.19. – № 4. – P. 213–227.
2. Leising L.J., Walton I.C. Cuttings-transport problems and solutions in coiled-tubing drilling // Society of Petroleum Engineers Drilling Conference. – Dallas, Texas, March 2002. – P. 85–100.
3. Есьман Б.И. Термогидравлика при бурении скважин. – М. : Недра, 1982. – 247 с.
4. Гукасов Н.А. Справочное пособие по гидравлике и гидродинамике в бурении. – М. : Недра, 1982. – 302 с.
5. К вопросу о влиянии реологических параметров промывочной жидкости на транспорт шлама по стволу горизонтальной скважины / Т.О. Акбулатов [и др.] // Территория нефтегаз. – 2012. – № 4. – С. 12–15.
6. Липатов Е.Ю. Исследование и разработка технологии и технических средств для предупреждения и ликвидации прихвата бурильной колонны (на примере месторождений Среднего Приобья). – Тюмень : ТюмГНГУ, 2015. – 128 с.
7. Krlessidis V.C., Dukler A.E. Modeling flow pattern transitions for upward gas-liquid flow in vertical concentric and eccentric annuli // International Journal Multiphase Flow. – 1989. – V. 15. – № 2. – P. 173–191.
8. Chauhan A.K., Prasad B.V.S.S.S., Patnaik B.S.V. Numerical simulation of flow through an eccentric annulus with heat transfer // International Journal of Numerical methods for heat and fluid flow. – 2014. – V. 24. – № 8. – P. 1864–1887.
9. Lyoho A.W., Azar J.J. An accurate slot-flow model for non-newtonian fluid flow through eccentric annuli // SPEJ. – 1981. – V. 21. – P. 565–572.
10. Kaewbumrung M., Charoenloedmongkhon A. Numerical simulation of turbulent flow in eccentric co-rotating heat transfer // Fluids. – 2022. – V. 7. – № 131. – P. 1–16.
11. Research on the condition model of drilling fluid nonretention in eccentric annulus / F. Fuping [et al.] // International journal of heat and technology. – 2015. – V. 33. – № 1. – P. 9–16.
12. Okrajni S. Mud cuttings transport in directional well drilling // Society of Petroleum Engineers paper 16.178: the 60th Ann Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers. – Las Vegas, NV, September 22–25, 1985. – P. 297–308.
13. Numerical simulation of velocity profile in eccentric annulus / H. Zhang [et al.] // SOCAR Proceedings. – China, September 2014. – № 3. – P. 13–21.
14. Nouri J.M., Umur H., Whitelaw J.H. Flow of newtonian and non-newtonian fluids in concentric and eccentric annuli // Journal of Fluid Mechanics. – 1993. – V. 253. – № 1. – P. 617–641.
15. Daugherty R.L., Franzini J.B., Finnemore E.J. Fluid mechanics and its applications // Journal of Fluid Mechanics. – 1995. – V. 288. – P. 249–264.
16. Clark A.J., Lake L.W., Patzek T.W. Production Forecasting with Logistic Growth Models // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Denver, Colorado, USA, October 2011. – P. 2–11.
17. Алгоритм автоматической оптимизации логистики во время бурения и освоения скважин / Д.М. Хамадалиев [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 1. – С. 16–19.
18. Гнеушев А.Н., Гурченков А.А., Мороз И.И. Прямой метод оценки параметров двухсегментной кусочно-логистической кривой // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Серия Приборостроение. – 2018. – № 1(118). – С. 31–48.
19. Ашрафьян М.О. Формирование потока при эксцентричном положении труб в скважине // Бурение и нефть. – 2010. – № 7–8. – С. 26–29.
20. Формирование потока вязко-пластичной жидкости в затрубном пространстве скважины / М.О. Ашрафьян [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 1970. – № 11. – С. 22–28.
21. Расчет касательных напряжений на стенке канала и распределение скоростей при турбулентном течении жидкостей / М.Х. Ибрагимов [и др.] // Атомная энергия. – 1966. – Т. 21. – № 2. – С. 101–107.
22. Оценка вязкости водных растворов ксантановых смол / А.И. Ламбин [и др.] // Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 7. – С. 96–103.

УДК 622.245.422

**ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИЗВЕСТНЫХ МОЮЩИХ БУФЕРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ****Лышко
Георгий Николаевич****ООО «БурениеСервис»**
кандидат технических наук, директор
burserv@mail.ru**Лышко
Олег Георгиевич****Филиал «Краснодар бурение» ООО «Газпром бурение»**
ведущий инженер
ole13@mail.ru**Усов
Сергей Васильевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
доцент кафедры «Нефтегазовое дело»
Baku50@mail.ru

Аннотация. По методике, предусматривающей предварительное загрязнение глиной буферной жидкости, гидродинамическое, временное и температурное подобие скважинным условиям, проверена эффективность смыва глинистой корки известными моющими буферными жидкостями. В указанных условиях моющая способность испытанных жидкостей оказалась нулевой.

Ключевые слова: скважина, буферная жидкость, моющая способность, буровой раствор, глинистая корка.

В настоящее время буровым подрядчикам предлагают немало жидких составов и сухих смесей для приготовления моющих буферных жидкостей, применяемых для разделения бурового и тампонажного растворов при цементировании обсадных колонн в скважинах. Предполагается, а поставщики утверждают, что моющие буферные жидкости (МБЖ) смывают остатки бурового раствора и рыхлую часть фильтрационной глинистой корки с внешней поверхности обсадных труб и стенок скважины. Тем самым обеспечивается в последующем герметичность зацементированного заколонного пространства. Причем считается, что буферные жидкости, представляющие собой водный раствор разжижающих, пептизирующих, поверхностно – активных агентов (ПАВ), проявляют намного большую эффективность в смыве глинистых остатков, чем «чистая» вода. Поэтому на покупку моющих составов буровики затрачивают немалые средства. Всегда ли оправданы эти затраты?

Применительно к МБЖ введен показатель их свойств, названный «глиноемкость», характеризующий способность МБЖ сохранять свою моющую способность при попадании в ее состав глины [1]. Из-за адсорбции ПАВ и других компонентов на поверхности смываемого вещества и понижения концентрации свободных моющих агентов в растворе происходит снижение моющей способности раствора вплоть до нуля.

В МБЖ глина начинает попадать сразу после вхождения жидкости в обсадную колонну, если, конечно, не применяют нижнюю разделительную пробку. А так поступают часто. Глина попадает в буферную жидкость из-за смешивания МБЖ с глинистым буровым раствором и из-за смыва адгезионной пленки бурового раствора с внутренней поверхности обсадных труб. Расчет показывает, что с МБЖ еще до того момента, когда она должна начать работать в качестве «чистильщика» кольцевого пространства, смешивается глинистая суспензия в объеме, достигающем 1–5 объемов самой МБЖ. С буферной жидкостью смешивается и проявляющий кальциевую агрессию тампонажный раствор. Остается ли после этого у МБЖ моющая способность? Достаточной ли «глиноемкостью» она обладает? Мы попытались это проверить.

Сочтя известные методики проверки моющей способности буферных жидкостей других авторов неприемлемыми потому, что в них не соблюдается гидродинамическое подобие скважинным условиям, не имитируется предварительное загрязнение глиной и не всегда соблюдали равное реальному время воздействия МБЖ на обрабатываемую поверхность, опыты проводили по экспрес-методике, предусматривающей использование одного из широко применяемых для оценки реологических свойств буровых и тампонажных растворов ротационного вискозиметра, (FANN35SA, ВСН-3, ZM 1001, ZNN-D6, Chandler 3500 и др.) [1].

Использовали FANN35SA. Была проверена моющая способность рекомендованных к применению и применяемых на практике 27 разновидностей МБЖ: вода и водные растворы, содержащие ПАВ, соли, фосфоновые комплексоны, полифосфаты или другие вещества (составы или их наименования намеренно не приводим по причине, которая станет понятной ниже).

Готовили МБЖ. Смешивали ее с буровым раствором при соотношении объемов 1 : 1. (Выбрали среднюю из ожидаемых степеней загрязнения МБЖ. Но соотношение объемов с учетом вышесказанного может быть и другим. Кроме того, в смесь может быть введен и тампонажный раствор). Считали, что тем самым мы приводим МБЖ в кондицию, подобную той, в которой она будет при выходе из-под башмака обсадной колонны при отсутствии нижней разделительной пробки. В качестве бурового раствора применяли следующий состав, % масс.: глинопорошок бентонитовый марки ППБ (немодифицированный производства Ильский завод «Утяжелитель») – 3; молотый, гидратированный и пептизированный в диспергаторе шлам высококоллоидной глины из скважины Федоровского месторождения (г. Нижневартовск) – 8; стабилизатор КМЦ-600 – 0,5; разжижитель НТФ – 0,01; вода-остальное.

Затем, используя тот же буровой раствор, формировали глинистую пленку-корку на измерительном цилиндре (бобине) вискозиметра. Для этого буровой раствор наливали в стакан и, поднимая стакан под измерительным цилиндром, погружали цилиндр в раствор. Цилиндр предварительно был очищен, обезжирен и высушен. Погружения повторяли 3–5 раз с перерывами в 10–15 мин. для подсыхания каждого слоя бурового раствора на цилиндре. Таким образом удавалось сформировать на поверхности цилиндра пленку – корку из глинистой суспензии, имитирующую остатки бурового раствора на обсадной колонне и стенках скважины, которые МБЖ должна удалить.

Как обычно перед проведением опыта на ротационном вискозиметре устанавливали вращающийся цилиндр. Наливали смесь МБЖ с буровым раствором в стакан вискозиметра (прогретый термостакан при применении FANN35SA) и после прогревания смеси устанавливали его на приборе так же, как тогда, когда хотим получить реологическую характеристику жидкости. Смесь прогревали до температуры, равной по значению динамической температуре на выбранной глубине скважины, обычно 60 °С, или иногда – до 95 °С – верхнего предела температуры, который позволяет достичь вышеназванный вискозиметр.

Включали двигатель при частоте вращения вращающегося цилиндра 100 об/мин. При такой частоте вращения в зазоре между измерительным и вращающимся цилиндрами жидкость движется с градиентом скорости сдвига, 170 с^{-1} , по величине, находящимся в пределах тех значений, которые в среднем бывают в заколонном пространстве скважины во время продавки цементного раствора при первичном цементировании обсадной колонны. Толщиной глинистой корки (не более 0,5 мм) мы пренебрегали, потому что она уменьшает кольцевой зазор, а значит – увеличивает градиент скорости течения жидкости и тем самым ужесточаются в сравнении с реальными условия опыта. Время вращения выбирали равным времени прохождения буферной жидкостью выбранного ответственного участка затрубного пространства. Это время рассчитываем как частное от деления объема буферной жидкости, применяемого на практике, на производительность насосов при продавке на том этапе операции цементирования, когда буферная жидкость проходит выбранный ответственный участок. Согласно известной рекомендации это время не должно быть менее 8 минут.

После смыва визуально оценивали его результаты. При проведении данной серии опытов качественной визуальной оценки в большинстве случаев было достаточно.

Более точную количественную оценку эффективности МБЖ можно производить по приросту массы испытуемой смеси после операции смыва. (Но тогда следует до начала опыта принять меры для предотвращения испарения смеси – на ее поверхности образовать тонкий слой масла).

Опыты при имитации попадания глины в буферную жидкость и моделировании градиентов скорости сдвига в скважине показали, что эффективность испытанных МБЖ крайне низкая – корка бурового раствора на измерительном цилиндре остается неудаленной после 8–10 минутного динамического воздействия на нее смесью МБЖ и глинистой суспензии.

Такой результат объясняется тем, что тангенсальные напряжения, возникающие на границе МБЖ/глинистая корка при существующих в заколонном пространстве при цементировании градиентах скорости течения жидкостей, оказываются недостаточными для разрушения прочной коагуляционной структуры глинистой суспензии, которую мы пытаемся смыть. Для того, чтобы снизить прочность указанной структуры, характеризующейся показателем «статическое напряжение сдвига», и вводят в состав МБЖ «моющие» ингредиенты: ПАВ, фосфоновые комплексы, полифосфаты, лигно-сульфонаты, гуматы и другие разжижители глинистых суспензий. Но эти вещества быстро расходуются на взаимодействие с глиной еще внутри колонны и перестают действовать в заколонном пространстве.

Таким образом, опыты показали, что известные буферные жидкости, для обеспечения моющей способности которых используют только химические добавки, в реальных условиях цементирования скважин без применения нижней разделительной пробки ожидаемой в количественном измерении моющей способностью скорее всего не обладают.

Список литературы:

1. Лышко Г.Н., Лышко О.Г. Экспресс-методика выбора моющей буферной жидкости // Экспозиция Нефть Газ. – 2010. – № 3. – С. 6–7.

УДК 622.279.6

**ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
С ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫМИ ЗАПАСАМИ****Мурашева
Валерия Федоровна****Кубанский государственный технологический университет**
студентка
murasheva.valeriya@gmail.com**Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры «Нефтегазовое дело»
gggiladev@gmail.com**Усов
Сергей Васильевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
доцент кафедры «Нефтегазовое дело»
Baku50@mail.ru

Аннотация. Внесены предложения по освоению месторождений с трудноизвлекаемыми запасами на примере сенон-туронских газоносных пластов месторождений севера Западной Сибири. Одним из новых и наиболее перспективных методов освоения является поэтапное наращивание мощностей с проведением многостадийных гидравлических разрывов пласта.

В этом случае достигается значительное увеличение коэффициента извлечения углеводородного сырья и рентабельность освоения, что расширяет границы дальнейшего развития нефтегазовой промышленности России.

Ключевые слова: трудноизвлекаемые запасы; освоение; многостадийный гидравлический разрыв пласта; экономическая эффективность.

Введение. В настоящее время в пределах основных нефтегазоносных провинций России разрабатываются практически все наиболее крупные и перспективные месторождения, вследствие чего наблюдается естественное сокращение минерально-сырьевой базы и снижение уровней добычи. В этих условиях особое значение приобретает вопрос восполнения запасов и ресурсов углеводородного сырья (далее – УВС), решением которого может стать освоение месторождений с трудноизвлекаемыми запасами.

Одним из наиболее актуальных направлений развития минерально-сырьевой базы является освоение трудноизвлекаемых запасов сенон-туронских газоносных пластов, входящих в состав Заполярного, Южно-Русского, Медвежьего и других месторождений севера Западной Сибири, расположенных на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Однако на пути освоения данного сырьевого потенциала имеются проблемы, связанные со сложным геологическим строением пластов, присутствием глинистых материалов и низкими емкостно-фильтрационными свойствами коллекторов. В связи с этим определяющую роль играет внедрение новых методов освоения.

Целью данной работы является внесение предложений по освоению трудноизвлекаемых запасов сенон-туронских газоносных пластов месторождений севера Западной Сибири.

Поставленная цель определила необходимость решения следующих основных задач:

- анализ существующих методов освоения трудноизвлекаемых запасов газа;
- разработка предложений по освоению трудноизвлекаемых запасов на примере сенон-туронских газоносных пластов;
- технико-экономическая оценка предложенных решений.

Методология. При изучении научных трудов в области освоения месторождений с трудноизвлекаемыми запасами газа были проанализированы существующие методы, определены наиболее распространенные и выбраны перспективные способы совершенствования освоения и интенсификации отборов газа.

В качестве нового и наиболее перспективного метода освоения месторождений с трудноизвлекаемыми запасами газа в данной работе предлагается рассмотреть поэтапное наращивание мощностей с проведением многостадийных гидравлических разрывов пласта (далее – МГРП).

Этап 1: строительство скважины с восходящим стволом;

Этап 2: проведение электроимпульсного многостадийного Кριο Фрекинга с управлением направлений распространения трещин;

Этап 3: забуривание боковых стволов;

Этап 4: проведение электроимпульсного многостадийного Кριο Фрекинга с управлением направлений распространения трещин.

Обсуждение. Электроимпульсный Кριο Фрекинг представляет собой комбинацию методов разрыва пласта в результате термодинамического расширения жидкого азота, замкнутого на забое. При испарении под воздействием пластовой температуры данный процесс сопровождается интенсивным ростом давления, что приводит к развитию и расширению трещин в породе, а также электроимпульсному воздействию в результате передачи давления через пласт в виде ударной волны. Эта волна со скоростью, превышающей скорость звука, распространяется по среде, находящейся в скважине. В качестве рабочего агента предлагается использовать сверхлегкий и прочный пропант нового поколения, характеризующийся высокими газопроводящими свойствами и низкой оседаемостью.

Несовершенство стандартной технологии проведения МГРП связано с взаимодействием векторов напряжений между соседними трещинами. Это приводит к тому, что каждая последующая трещина отклоняется от предыдущей в сторону распространения полей напряжений. Ширина трещин, образуемых после проведения первой стадии ГРП, снижается на каждой последующей стадии. А микротрещины, образованные ранее, перекрываются, не создавая необходимую сложную сеть трещин.

Решением данных недостатков, является проведение МГРП по модернизированной технологии, называемой Texas two-step fracturing, которая заключается в том, что ГРП проводится не последовательно, а в измененном порядке. Данный метод позволяет снизить анизотропию напряжений между трещинами, в результате чего трещины гидроразрыва и индуцированные трещины для снятия напряжения соединятся друг с другом, и создадут ожидаемые сложные сети трещин. Траектория гидравлических трещин, образуемых при проведении МГРП по технологии Texas two-step fracturing, более прямая, что способствует более легкой транспортировке пропанта по трещине.

По результатам технико-экономической оценки предложенных решений подтверждена их экономическая эффективность. В качестве критериев использовался набор показателей, включающий чистый дисконтированный доход (далее – ЧДД), внутреннюю норму доходности (далее – ВНД) и интегральный показатель оптимальности (далее – $T_{\text{опт}}$). В процессе расчетов были учтены особенности месторождений, влияющие на затраты и результаты их освоения.

Показатели экономической эффективности:

- ЧДД – 181 млн руб.;
- ВНД – 14,8 %;
- $T_{\text{опт}}$ – 3,3.

Выводы

В результате проведенной работы для освоения месторождений с трудноизвлекаемыми запасами газа предлагается использование нового метода поэтапного наращивания мощностей с проведением МГРП, а именно электроимпульсного Кριο Фрекинга, технологию управления распространением трещин (Texas two-step fracturing) и сверхлегкого пропанта нового поколения.

Это позволит достичь значительное увеличение коэффициента извлечения УВС, повысить показатели экономической эффективности и использовать внедренные методы при освоении других месторождений с трудноизвлекаемыми запасами, что расширяет границы дальнейшего развития нефтегазовой промышленности России.

Вовлечение в разработку месторождений с трудноизвлекаемыми запасами позволит восполнить минерально-сырьевую базу России, а также обеспечить поддержание высокого устойчивого уровня добычи УВС на длительный срок.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтескважинах и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескопроявлений горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.

17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.

18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

19. Билинчук А.В. Повышение эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов нефти технологиями химического и гидродинамического воздействия на пласты // Специализированный журнал «Бурение и Нефть». – 2007. – № 1. – С. 29–33.

20. Якимов И.Е. Разработка и исследование методов и технологий освоения трудноизвлекаемых запасов газа. – Тюмень : ООО «ТюменьНИИгипрогаз», 2008. – 175 с.

УДК 622.276

**АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАЗРАБОТКИ
СЕВЕРО-ХОСЕДАЮСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ****Нешков
Александр Игоревич**Ухтинский государственный технический университет
студент
neshkov.94@mail.ru**Савенок
Ольга Вадимовна**Санкт-Петербургский горный университет
доктор технических наук, профессор кафедры разработки
и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений
Savenok_OV@pers.spmi.ru**Кусова
Лизавета Геннадиевна**Санкт-Петербургский горный университет
студентка
kusovalisa@gmail.com

Аннотация. В статье проведён анализ текущего состояния разработки Северо-Хоседаюского месторождения. Рассмотрено состояние фонда скважин. Показано, что наибольший интерес направлен на изучение динамики технологических показателей разработки переходящего фонда, скважины которого пробурены в зонах с наибольшей концентрацией извлекаемых запасов. Сделан вывод о том, что, скорее всего, обводнение залежи происходит за счёт незначительного подтягивания контура (нежели по кавернозно-трещиноватым каналам) на фоне наибольшего снижения пластового давления.

Ключевые слова: анализ текущего состояния разработки месторождения; общие сведения о месторождении; основные этапы проектирования разработки месторождения; характеристика основных показателей разработки; характеристика фонда скважин месторождения; динамика технологических показателей разработки переходящего фонда.

Общие сведения о месторождении

Северо-Хоседаюское нефтяное месторождение расположено на территории Ненецкого автономного округа Архангельской области в 250 км восточнее-северо-восточнее административного центра г. Нарьян-Мар – крупного речного и морского порта на Крайнем северо-востоке Европейской части России.

Обзорная карта месторождения представлена на рисунке 1.

На площади развита островная многолетняя мерзлота, глубина которой составляет 250–350 м. На дневной поверхности нередко встречаются термокарстовые проявления, возникающие в результате вытаявания подземного льда. Глубина сезонного оттаивания мерзлоты 0,8–2,5 м.

Основные этапы проектирования разработки месторождения

Северо-Хоседаюское месторождение введено в разработку в 2009 году. За прошедший период было составлено 3 технологических документа на разработку месторождения:

- 1) технологическая схема разработки Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения (2009 г.);
- 2) технико-экономическое обоснование коэффициента извлечения нефти (ТЭО КИН) (2012 г.);
- 3) дополнение к технологической схеме разработки Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения (2012 г.).



Рисунок 1 – Обзорная карта месторождения

В настоящее время месторождение разрабатывается на основании «Дополнения к технологической схеме разработки Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения».

Анализ текущего состояния разработки месторождения

На 01.01.2019 г. на месторождении добыто 4,1 млн тонн нефти и 6,6 млн тонн жидкости. В эксплуатации перебивалась 71 скважина, из которых 1 скважина ликвидирована. Под закачкой перебивалось 4 скважины, объем нагнетаемой воды составил 1,9 млн м³. Отбор от начальных извлекаемых запасов составляет 16,4 % при текущей годовой обводненности 55,8 %.

Накопленная добыча нефти на одну добывающую скважину в среднем составила 57,0 тыс. тонн, при этом максимальный отбор (311 тыс. тонн) приходится на скважину № 1203.

Динамика технологических показателей разработки по месторождению в целом по годам представлена в таблице 1.

Разработка месторождения ведётся по 3 участкам. Участки Северо-Хоседаюского месторождения выбирались с учётом особенностей геолого-физических характеристик коллектора, степени обводнения и работе добывающих скважин. Характеристика фонда скважин Северо-Хоседаюского месторождения по состоянию на 01.01.2019 г. представлена в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристика основных показателей разработки

Показатели разработки	Годы				
	2015	2016	2017	2018	2019
Добыча нефти, тыс. тонн:					
– годовая	3,3	229,5	1284,0	1372,8	1119,9
– накопленная	42,3	271,8	1555,8	2928,6	4048,5
Добыча жидкости, тыс. тонн:					
– годовая	3,3	246,8	1568,7	2245,9	2531,7
– накопленная	42,3	289,1	1857,8	4103,7	6635,4
Обводнённость продукции, %	0,0	7,0	18,1	38,9	55,8
Закачка воды, тыс. м ³ :					
– годовая	0,0	14,8	332,8	993,0	1906,0
– накопленная	0,0	14,8	347,6	1340,6	3246,6
Компенсация отборов закачкой, %:					
– годовая	0	6	20	42	72
– накопленная	0	5	17	31	46
Добыча нефтяного газа, млн м ³ :					
– годовая	0,1	7,3	40,5	40,7	31,0
– накопленная	2,1	9,4	49,9	90,6	121,6
Фонд скважин, действующих в течение года:					
– добывающих	3	15	38	54	66
– нагнетательных	–	2	2	3	4

Таблица 2 – Характеристика фонда скважин Северо-Хоседаюского месторождения по состоянию на 01.01.2019 г.

Наименование	Характеристика фонда скважин	Участки			По месторождению в целом
		№ 1	№ 2	№ 3	
1	2	3	4	5	6
Фонд добывающих нефтяных скважин	Пробурено				78
	Переведены в другие категории	1	1	2	4
	Переведены из других категорий				
	Всего	27	31	16	74
	В том числе:				
	– действующие	24	27	14	65
	– фонтанные				
	– ЭЦН	24	27	14	65
	– бездействующие		1		1
	– в освоении после бурения		1		1
	– в консервации				
	– наблюдательные				
	– переведены под закачку				
	– переведены на другие горизонты				
– в ожидании ликвидации					
– ликвидированные	3	2	2	7	
Фонд водозаборных скважин	Пробурено				2
	Переведено из других категорий				
	Всего				2

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Фонд нагнетательных скважин	Пробурено				4
	Возвращены с других горизонтов				
	Переведены из добывающих	1		2	3
	Всего	4	1	2	7
	В том числе:				
	– под закачкой	4			4
	– бездействующие				
Фонд контрольных (пьезометрических) скважин	Пробурено				
	Переведены из добывающих		1		1
	Всего		1		1
	В том числе:				
	– наблюдательные				
	– переведены в другие категории				

Участок № 1 (район кустов № № 1, 2, 13, 12 и скважина № 11107) отличается наибольшими нефтенасыщенными толщами (до 60 м) и наибольшей зоной концентрации извлекаемых запасов (более 50 % от всего объема НИЗ месторождения).

С западной стороны залежь имеет водонефтяной контур, с восточной стороны залежь имеет литологическое замещение карбонатного рифа. Система избирательного размещения скважин на данном участке практически полностью реализована, для завершения системы необходимо добурить 3 добывающие приконтурные скважины.

Участок № 2 (район кустов № № 3, 4, 10 и 11) имеет наибольшую площадь распространения и со всех сторон граничит с законтурной водоносной областью. Эффективные нефтенасыщенные толщины небольшие – 80 % не превышают 10 м и всего 20 % площади участка в районе 3 куста достигают 35 м.

К участку № 3 (северо-восточная залежь, кусты № № 6 и 8) приурочена самостоятельная залежь в районе скважины № 1п. Залежь имеет обширные водоносные законтурные области. Эффективные нефтенасыщенные толщины достигают 35 м.

Анализ разработки по участкам с разделением скважин на переходящий и новый фонд

Участок № 1. По переходящему фонду каждый месяц фиксируется тенденция постепенного снижения отборов нефти на 1,1 тыс. тонн в месяц. За 2018 год по рассматриваемому участку отбор нефти составил 605,1 тыс. тонн, что составляет 54 % от общего годового отбора по месторождению в целом. Отборы жидкости достаточно стабильны и в 2018 году варьировались от 97 до 108 тыс. тонн.

Обводненность увеличивается на 0,6 абс. % в месяц и на 01.01.2019 г. составляет 53 % при отборе от НИЗ (данного участка) – 17,33 %. В районе участка № 1 в переходящем фонде числится 21 скважина.

В 2018 году на данном участке ввели 4 новые скважины со средней обводненностью 60,8 %, дебиты нефти варьировались от 12,5 до 83,3 тонн/сут. Скважина № 11202 проработала периодически всего 4 месяца из-за небольших дебитов (12 тонн/сут.) и высокой обводненности (90 %). После ремонта снова была запущена в работу в декабре с дебитом 32 тонн/сут., обводненность в момент пуска составила 89,3 %. В 2018 году новым фондом отобрано 33,7 тыс. тонн нефти и 103,7 тыс. тонн жидкости, текущая обводненность – 76,8 %.

Участок № 2. За рассматриваемый год по участку добыто 276,5 тыс. тонн нефти и 906,8 тыс. тонн жидкости. На конец года фонд скважин составил 26 ед. Низкодебитная скважина № 1307 выбыла из эксплуатации в июле 2018 года, а в августе была вновь вве-

дена, также как и новая скважина № 11001 (стартовая обводнённость – 96,8 %). Тем самым обводнённость скважин после стабилизации в сентябре месяце увеличилась на 3,7 %, а добыча нефти снизилась на 1,6 тыс. тонн, что объясняется прогрессирующим обводнением добывающих скважин. В октябре была введена высокообводнённая скважина № 11009, увеличив обводнённость добывающих скважин ещё на 2,7 %.

По состоянию на 01.01.2019 г. отбор от НИЗ по участку составил 17,7 % при обводнённости 69,3 %, накопленные отборы нефти и жидкости на одну скважину составляют 38,8 тыс. тонн и 79,6 тыс. тонн соответственно.

Участок № 3. За 2018 год по рассматриваемому участку добыто 204,7 тыс. тонн нефти и 288,0 тыс. тонн жидкости. На декабрь 2018 года фонд скважин составил 14 ед. Обводнённость скважин увеличивается в среднем на 2,6 % в месяц, а добыча нефти постепенно снижается. Обводнённая на 97,2 % скважина № 5 после КРС в декабре переведена в нагнетательный фонд, поэтому в январе можно ожидать некоторого снижения обводнённости скважин.

По состоянию на 01.01.2019 г. отбор от НИЗ по участку составил 10,3 % при обводнённости 28,9 %.

По переходящему фонду числится 10 скважин. Отборы нефти достаточно стабильно снижаются на 0,5 тыс. тонн в месяц – с 17,3 тыс. тонн в январе до 12 тыс. тонн в декабре 2018 года.

В августе месяце увеличение отборов на 0,8 тыс. тонн связано частично с увеличением коэффициента эксплуатации скважин и частично с форсированием отборов жидкости. За 2018 год по третьему участку переходящими скважинами добыто 182,8 тыс. тонн нефти, что составляет 16 % от годовой добычи по месторождению в целом. Отборы жидкости в 2018 году варьировались от 16,7 до 21,3 тыс. тонн, всего скважинами переходящего фонда добыто 224,8 тыс. тонн.

В 2018 году на участке № 3 введено 4 новые скважины. Обводнённость трёх из них за текущий год составляла от 0,4 до 31 %, дебиты нефти – 8,4–45,4 тонн/сут. В скважине № 1601 в ноябре провели ОПЗ, в результате которого дебит нефти увеличился с 17,2 до 32 тонн/сут., обводнённость также повысилась на 3,5 %. Скважина № 1602 была введена в феврале с дебитом нефти 80,6 тонн/сут. и обводнённостью 31 %, а с апреля и до конца года отборы нефти составили 9,3–17,2 тонн/сут. с обводнённостью 89,1–91,1 %. Столь неблагоприятную тенденцию отборов предопределило приконтурное расположение скважины, близость разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости.

С июня по сентябрь, в период форсирования отборов, текущее пластовое давление в районе новых скважин снизилось на 12 МПа – с 27 МПа до менее 15 МПа в скважине № 1603, поэтому для повышения нефтеотдачи участка необходимо организовать систему ППД.

Всего за 2018 год новым фондом отобрано 22,0 тыс. тонн нефти и 63,2 тыс. тонн жидкости, текущая обводнённость – 65 %. Без учёта скважины № 1602 текущая обводнённость составляет 11,7 %.

При сопоставлении обводнённости скважин относительно участков отмечаются следующие тенденции:

1. По переходящему фонду:

- наибольшую долю воды (74–75 %) в продукции имеет участок № 2;
- наименьшую долю воды (29–32 %) в продукции имеет участок № 3;
- по участку № 1, на долю которого приходятся основные отборы, обводнённость составляет 53 %.

2. По новому фонду – новые скважины на конец 2018 года имеют обводнённость от 65 % (участок № 3) до 84 % (участок № 2). На первом участке скважины обводнены на 77 %. В целом характер обводнения новых скважин по участкам достаточно схожий.

При сопоставлении дебитов нефти на одну скважину относительно участков отмечаются следующие тенденции:

1. По переходящему фонду:

- средние дебиты нефти (76–75 тонн/сут.) приходятся на участок № 1;
- средние дебиты нефти (28–26 тонн/сут.) приходятся на участок № 2, и они снижаются быстрее, чем на других участках;
- на долю участка № 3 приходятся отборы с дебитами 46–43 тонн/сут.

2. По новому фонду – новые скважины на конец года имеют наибольшие отборы нефти по участку № 1 (55–40 тонн/сут.), по двум другим отборы не превышают 22 тонн/сут.

При сопоставлении дебитов жидкости на одну скважину относительно участков отмечаются следующие тенденции:

1. По переходящему фонду:

- средние дебиты жидкости (159–160 тонн/сут.) приходятся на участок № 1;
- средние дебиты жидкости (105–108 тонн/сут.) приходятся на участок № 2;
- на долю участка № 3 приходятся отборы жидкости с дебитами 63–65 тонн/сут.;

2. По новому фонду – в новых скважинах на конец года самые высокие дебиты также приходятся на участок № 1 (173–190 тонн/сут.), скважины участков № 2 и 3 стремятся принять аналогичную тенденцию как по переходящему фонду.

Выводы

Наибольший интерес направлен на изучение динамики технологических показателей разработки переходящего фонда, скважины которого пробурены в зонах с наибольшей концентрацией извлекаемых запасов. Так, выполненное выше сопоставление показателей разработки даёт представление о несколько ином характере обводнения третьего участка, нежели это происходит на двух других. Скважины участка № 3 имеют наименьшую обводнённость (до 26 %), что в свою очередь сказалось на большей продуктивности, нежели если сравнивать с продуктивностью соседнего участка № 2. Скорее всего, обводнение залежи происходит за счёт незначительного подтягивания контура (нежели по кавернозно-трещиноватым каналам) на фоне наибольшего снижения пластового давления (до 15 МПа на скважине № 1603).

Участок № 1 за счёт высокого этажа нефтеносности и наибольшего скопления извлекаемых запасов на одну скважину имеет наибольшие отборы нефти и жидкости. Соответственно и поступление воды по фильтрационным каналам происходит с меньшей скоростью, чем по участку № 2.

При этом участок № 1 разрабатывается дольше на ≈ 2 года, нежели участок № 2.

По участку № 2 характер обводнения идентичен с участком № 1, однако за счёт небольших нефтенасыщенных толщин (80 % площади составляет около 10 м) обводнение скважин происходит с большей скоростью.

Зависимости $Q_H = f(Q_J)$ и $ВНФ = f(Q_H)$ по участкам показаны на рисунке 2.

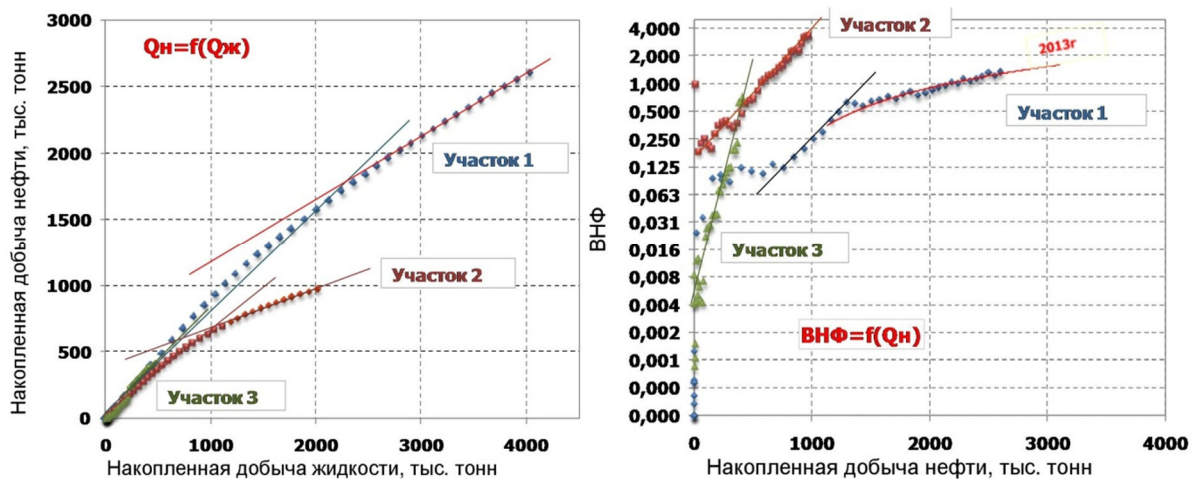


Рисунок 2 – Зависимости $Q_H = f(Q_J)$ и $ВНФ = f(Q_H)$ по участкам

Построенные зависимости $Q_H = f(Q_J)$ и $ВНФ = f(Q_H)$ показывают следующее: участок № 1 характеризуется наклонным трендом $Q_H = f(Q_J)$ и пологим трендом $ВНФ = f(Q_H)$, что связано с достаточно большими отборами нефти при обводнённости не более 60 % и дальнейшее увеличение отборов жидкости в ближайшие месяцы приведёт к незначительному увеличению отборов воды; участок № 2 характеризуется пологим трендом $Q_H = f(Q_J)$ и наклонным трендом $ВНФ = f(Q_H)$, что связано с достаточ-

но большими отборами жидкости при высокой обводнённости (более 60 %) и дальнейшее увеличение отборов жидкости приведёт к низкой выработке остаточных запасов.

По участку № 3 скважины мало обводнены, приведённые зависимости не показательны, хотя в то же время идентичны начальному этапу участка № 1.

Процесс разработки месторождений ЦХП сопровождается существенным истощением пластовой энергии.

На Северо-Хоседаюском месторождении при отборе порядка 16 % от НИЗ пластовое давление в различных участках залежи составляет 20–25 МПа ($P_{нач} = 31,2$ МПа), т.е. на 14–44 %.

На южном куполе осуществляется закачка воды в 4 нагнетательные скважины под уровень ВНК. Закачка оказала влияние на замедление темпа падения пластового давления, а перераспределение объёмов закачки – на повышение пластового давления. Планируется перевод под закачку 9 добывающих скважин.

Список литературы:

1. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Технологии и принципы разработки многопластовых месторождений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 1. – С. 33–50.
2. Березовский Д.А., Савенок О.В., Кусов Г.В. Закономерности и изменения свойств нефти и газа в залежах и месторождениях // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 1. – С. 114–119.
3. Гула Е.В., Черницкий А.В. Методика интерпретации скважинных имиджей на примере карбонатных отложений Северо-Хоседаюского месторождения // Сборник научных трудов «Исследование технологий повышения эффективности разработки нефтяных месторождений» / Под ред. А.В. Фомкина, С.А. Жданова. – М., 2018. – С. 113–130.
4. Техногенное воздействие на атмосферу при добыче и использовании углеводородов / Р.А. Ежиков [и др.] // REFERATOTECH: материалы II Международной научно-практической конференции (23 октября 2021 года, г. Краснодар): в 2 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 1. – С. 168–173.
5. Эффективность применения геолого-технических мероприятий при разработке месторождений / М.В. Муравлева [и др.] // Research. Engineering. Extreme : материалы Международной научно-практической конференции (03 июня 2021 года, г. Краснодар). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 175–181.
6. Нешков А.И., Савенок О.В. Анализ проведения солянокислотной обработки скважин Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 2. – С. 172–185.
7. Савенок О.В., Кусова Л.Г. Анализ текущего состояния разработки и выработки запасов газонефтяного месторождения Северное // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 3. – С. 161–174.
8. Савенок О.В., Кусова Л.Г. Анализ геолого-промысловой информации для проектирования геолого-технических мероприятий на Южно-Русском нефтегазоконденсатном месторождении // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 312–327.
9. Савенок О.В., Сафиуллина Е.У., Кусова Л.Г. Анализ причин снижения нефтеотдачи на Западно-Хоседаюском месторождении и рекомендации для внедрения геолого-технических мероприятий // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 290–298.
10. Использование фильтрационной модели карбонатного коллектора для повышения показателей разработки Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения / Г.В. Сансиев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 8. – С. 27–29.
11. Шиян С.И., Слепцов А.А., Кусова Л.Г. Геолого-промысловое и технико-экономическое обоснование вариантов разработки Латыповского нефтяного месторождения // Научный потенциал вуза – производству и образованию: сборник статей по материалам III Международной научно-практической конференции, посвящённой 75-летию Победы советского народа в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. (04–05 декабря 2020 года, г. Армавир). – Армавир : Издательство «Армавирский собеседник», 2021. – С. 147–157.

УДК 622

ОБЗОР МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕМ НА ГРС**Орлова
Инна Олеговна****Кубанский государственный технологический университет**
доцент**Авакимян
Наталья Николаевна****Кубанский государственный технологический университет**
доцент**Орлов
Игорь Владиславович****Кубанский государственный технологический университет**
студент

Аннотация. Показана возможность образования гидратов и их отрицательное влияние на работу газотранспортных систем. Рассмотрены традиционные методы борьбы с гидратами, выявлено, чтоиспользуемые методы требуют значительных капиталовложений.

Ключевые слова: гидраты, газ, газотранспортные системы, методы борьбы, подогрев, метанол.

В настоящее время процессы добычи, транспорта, хранения и переработки газа осложнены проблемой образования газовых гидратов. Это связано с наличием в потоке газа водной фазы, способной при определенных температурах и давлениях в газопроводе образовывать совместно с газовыми молекулами соединения включения. На этот процесс могут оказывать влияние физико-химические характеристики воды и газа. Возникновение гидратных отложений в призабойной зоне пласта оказывает влияние на дебит скважины, т.е. снижает его. Особенно большое внимание уделяется вопросам подготовки газа для его транспортировки по газопроводам большой протяженности [1], а также на участках с высокими скоростями потока среды [2]. Гидраты закупоривают частично или полностью проходное сечение трубы, что приводит к возникновению в трубопроводе зон с повышенным давлением. При продавливании газогидратной пробки на газораспределительных станциях могут возникнуть условия для газодинамического удара, который является одним из механизмов стремительного разрушения трубопроводов.

Энергоэффективное управление магистральным транспортом и распределением природного газа является одним из приоритетных направлений устойчивого развития и оптимизации затрат в газовой промышленности [1, 2]. В настоящее время на газотранспортных предприятиях ПАО «Газпром» уделяют серьезное внимание проблемам рационального использования природного газа на собственные технологические нужды при соблюдении условий обеспечения промышленной безопасности и оптимального управления газотранспортной системой, повышения энергетической эффективности производственных процессов.

При редуцировании давления газа на ГРС, за счёт эффекта Джоуля-Томпсона, происходит существенное падение температуры газа. Это в свою очередь приводит к образованию конденсата в виде газогидратов, обмерзанию регулирующих клапанов, запорной арматуры, приборов и трубопроводов. Основными факторами, определяющими условия образования гидратов в газопроводах, являются состав транспортируемого газа, его давление, температура и полное насыщение газа парами воды.

Чаще всего закупоривание газопровода может происходить в зимний период в связи со значительным охлаждением движущегося в трубопроводе газового потока. Образование гидратов может иметь место на всех газопроводах, за исключением транспортирующего газ с точкой росы паров воды ниже минимальной рабочей температуры [3].

Отлагаясь на внутренних стенках труб и оборудовании, гидраты резко уменьшают их пропускную способность и могут привести к аварийной остановке эксплуатации газопровода. Затраты нефтегазовых компаний на предупреждение и борьбу с газогидратными пробками составляют значительную часть стоимости транспорта и распределения газа.

К традиционным методам борьбы с гидратообразованием на ГРС относят: общий или частичный подогрев газа, локальный подогрев корпуса регуляторов давления (РД) и ввод метанола в газопровод.

При различных видах подогрева температура становится выше равновесной температуры образования гидратов, что приводит к разложению гидратов. На практике трубопровод подогревается горячей водой или паром. Исследования показали, что повышение температуры в точке контакта гидрата и металла до 30–40 °С достаточно для быстрого разложения гидратов. Однако на магистральных газопроводах применение данного способа практически невозможно и экономически нецелесообразно, так как он требует больших капитальных и эксплуатационных расходов.

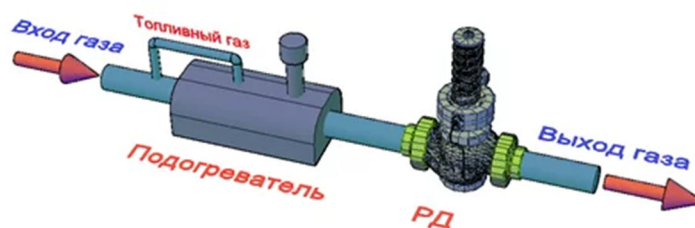


Рисунок 1 – Схема общего подогрева газа на ГРС

Метанол – широко распространенный антигидратный реагент, используемый как для предупреждения гидратообразования, так и для ликвидации возникающих по каким-либо причинам гидратных отложений. Использование метанола, как и любого химического вещества, имеет сложности и главная из них – высокая токсичность (воздействие на организм человека, как при вдыхании паров, так и при попадании на кожу и в организм человека).

Согласно нормативной документации компании «Газпром», узел подогрева газа должен обеспечивать температуру газа на выходе из ГРС не ниже –10 °С (на пучинистых грунтах не ниже 0 °С). Для этого на ГРС устанавливают специальные подогреватели, работа которых приводит к усложнению технологической схемы ГРС, расходу части транспортируемого газа в качестве топлива и выбросам продуктов сгорания в атмосферу. Кроме того, зачастую, фактическая пропускная способность ГРС, намного меньше проектной. Это приводит к тому, что тепловая мощность установленных подогревателей превышает реальные потребности ГРС. В результате 54 % подогревателей работают с нагрузкой менее 50 %, 32 % подогревателей с нагрузкой менее 30 % и 14 % подогревателей с нагрузкой менее 10 %. В связи с этим подогреватели работают в режимах, которые до 2–10 раз ниже, чем проектные. Это негативно отражается на эффективности их работы (наблюдается значительное конденсатообразование, ненадежная работа горелок, отказ в работе системы автоматизации).

Все используемые методы требуют либо значительных капиталовложений, либо затрат ресурсов: газа на сжигание, электроэнергии для местного обогрева, метанола. В целях минимизации себестоимости транспорта газа, актуальной задачей является разработка новых способов осуществления подогрева газа при редуцировании, отвечающих требованиям энергосбережения.

Список литературы:

1. Истомин В.А. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах сбора и промышленной обработки газа и нефти. – М. : ВНИИЭгазпром, 1990. – 214 с.
2. Чухарева Н.В. Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ. – Томск : Том. политехн. ун-т, 2010. – 30 с.
3. Концепция энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «Газпром» на период 2011–2020 гг. (утв. приказом ОАО «Газпром» от 28.12.2010 № 364).
4. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности: Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 02.07.2013). – 2013. – 52 с.
5. Катаев К.А. Гидратообразование в трубопроводах природного газа // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2011. – № 1 (2).

УДК 622

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА РАНКА-ХИЛША В ПРОТИВОТОЧНОЙ
ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ С ВНЕШНИМ СМЕЩЕНИЕМ ПОТОКОВ НА ГРС****Орлова
Инна Олеговна****Кубанский государственный технологический университет**
доцент**Даценко
Елена Николаевна****Кубанский государственный технологический университет**
доцент**Орлов
Игорь Владиславович****Кубанский государственный технологический университет**
студент

Аннотация. Изложен принцип работы вихревой трубы, проведен анализ ее экспериментальных исследований, рассмотрена противоточная вихревая труба с внешним смещением потоков. Показано, что применение такой трубы на ГРС позволит повысить энергетическую эффективность трубопроводных систем распределения и транспортировки природного газа.

Ключевые слова: вихревая труба, энергоразделение, эффект Ранка-Хилша, смешение потоков, транспортировка газа.

Для предотвращения обмерзания газового оборудования и подогрева газа на ГРС предлагается внедрение установок безмашинного энергоразделения. Под термином «энергоразделение» или «безмашинное энергоразделение» понимается перераспределение полной энтальпии (температуры торможения) в потоке газа без совершения им внешней работы и при отсутствии теплообмена с окружающей средой. Причины, вызывающие энергоразделение потока, могут быть различными. В некоторых случаях это вихревые течения, в других – пульсации давления и ударные волны [1, 2]. Данные эффекты легли в основу устройств для энергоразделения газов.

Имеется множество разновидностей энергоразделяющих устройств, основанных на различных эффектах. Среди них можно выделить: эжекция с отрицательным коэффициентом эжекции, устройство энергоразделения с фазовым переходом, пульсационные трубы, энергоразделение в потоках газа при обтекании различных преград и в свободно истекающей струе газа, вихревые трубы Ранка-Хилша.

Энергоразделяющие устройства многофункциональны в своём применении. При различной конструкции возможно получение как сверхнизких, так и сверхвысоких температур. Отличительной особенностью данных аппаратов является их простота, отсутствие движущихся частей, низкая инерционность, малый вес и надежность конструкций [1, 3].

Предлагается применять вихревую трубу, построенную на основе эффекта Ранка-Хилша (рис. 1). Суть работы вихревой трубы заключается в следующем. Сжатый газ подается через тангенциальный сопловой канал 1 в трубу, где устанавливается интенсивное круговое движение. При этом возникает неравномерное поле температур. Слои газа вблизи оси трубы холоднее чем входной газ, а периферийные слои закрученного потока нагреваются. Часть газа в виде холодного потока отводится через диафрагму 2, а нагретый газ через дроссельный вентиль 3 отводится с другой стороны трубы. После прохождения трубы, эти потоки смешиваются. Данная конструкция позволяет провести изотермическое дросселирование газа.

Экспериментальные данные распределения полной температуры газа по относительной длине вихревой трубы говорят о том, что полная температура периферийных слоев газа растет при движении от соплового сечения к дросселю. Эффект Ранка-Хилша возникает в вихревой трубе при обмене работой и теплотой между периферийным и осевым потоками газа.

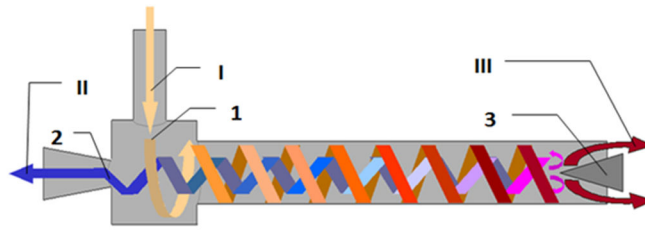


Рисунок 1 – Схема разделения потока в вихревой трубе:
1 – тангенциальное сопло, 2 – диафрагма, 3 – дроссель, I – входящий поток газа,
II – охлажденный поток, III – нагретый поток

В вихревую трубу поток газа подается с параметрами $P_{вх}$, $T_{вх}$. В результате снижения давления газ перейдет в состояние с параметрами $P_{дт}$, $T_{дт}$. Дросселирование исходного потока в вихревой трубе позволяет получить на выходе поток газа с параметрами нагретого потока $P_{гор}$, $T_{гор}$ и массовым расходом $G_{гор}$ и охлажденного потока $P_{хол}$, $T_{хол}$ с массовым расходом $G_{хол}$. Полученные в результате прохождения вихревой трубы параметры газа значительно отличаются от параметров газа, полученных после прохождения им дросселирующих устройств (снижение и превышение температуры соответственно).

В противоточной вихревой трубе с внешним смешением потоков (рис. 2) массовый расход газа на выходе $G_{вых} = G_{гор} + G_{хол}$ определится как сумма массовых расходов нагретого и охлажденного потоков. Интенсивность энергетического разделения газов в вихревой трубе (вихревой эффект), как известно, оценивают по зависимости избыточных величин температур газа $\Delta T_{хол} = T^*_{вх} - T^*_{хол}$ и $\Delta T_{гор} = T^*_{гор} - T^*_{вх}$ от доли охлажденного потока μ_x относительно массового расхода на входе $G_{вх}$. Доля подогретого потока при этом составит $1 - \mu_x$.

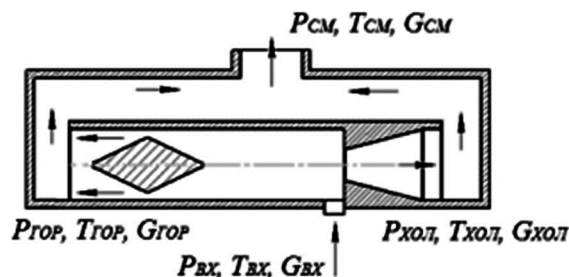


Рисунок 2 – Противоточная вихревая труба с внешним смешением потоков

Исходя из равенства полных удельных энтальпий входящего в вихревую трубу потока газа и суммы истекающих (нагретого и охлажденного) из нее потоков газа, характеристикой квазиизотермического процесса является температура смешанного потока, а также перепад температуры по всей системе смешения потоков после стратификации в вихревой трубе при $c_p = \text{const}$:

$$T_{см}^* = \mu_x \cdot T_{хол}^* + (1 - \mu_x) T_{гор}^* \quad (1)$$

Анализ экспериментальных исследований противоточной вихревой трубы согласно А. П. Меркулову, представленный в виде графика в Р-Т координатах процесса дросселирования и перераспределения температуры потоков газа после вихревой трубы, изображен на рисунке 3. Сравнительный анализ испытаний вихревых труб [1] позволил выявить зоны, в которых смесевая температура равна входной (зона изотермического дросселирования) либо превышает ее (зона квазиизотермического дросселирования).

Как видно, смесевая температура газа $T_{см}$ на всем участке смешения превышает температуру, полученную при снижении давления газа путем его дросселирования (дроссель-эффект). Исследование температурных характеристик, получаемых в результате дросселирования газа в вихревых трубах, подтверждают возможность получения квазиизотермического процесса, для осуществления которого необходимо со-

здание условий интенсивной температурной стратификации входного потока и последующего смешения газа в определенных массовых пропорциях по формуле (1) с максимальным исключением теплообменных процессов между стратифицированным потоком и окружающей средой. Анализ механизма процесса температурной стратификации в вихревых трубах позволил выявить несоответствие в процессе дросселирования дифференциального дроссель-эффекта (эффекта Джоуля-Томсона) в двух областях: в области потока с низкой температурой и в области потока с высокой температурой. Область, в которой температура потока превышает температуру входа, можно использовать в качестве источника предварительного подогрева для повышения входной температуры. Тогда подогрев входного газа, за счет горячего газа, полученного после стратификации, приводит к тому, что температура газа перед стратификацией непрерывно повышается, реализуя положительную обратную связь.

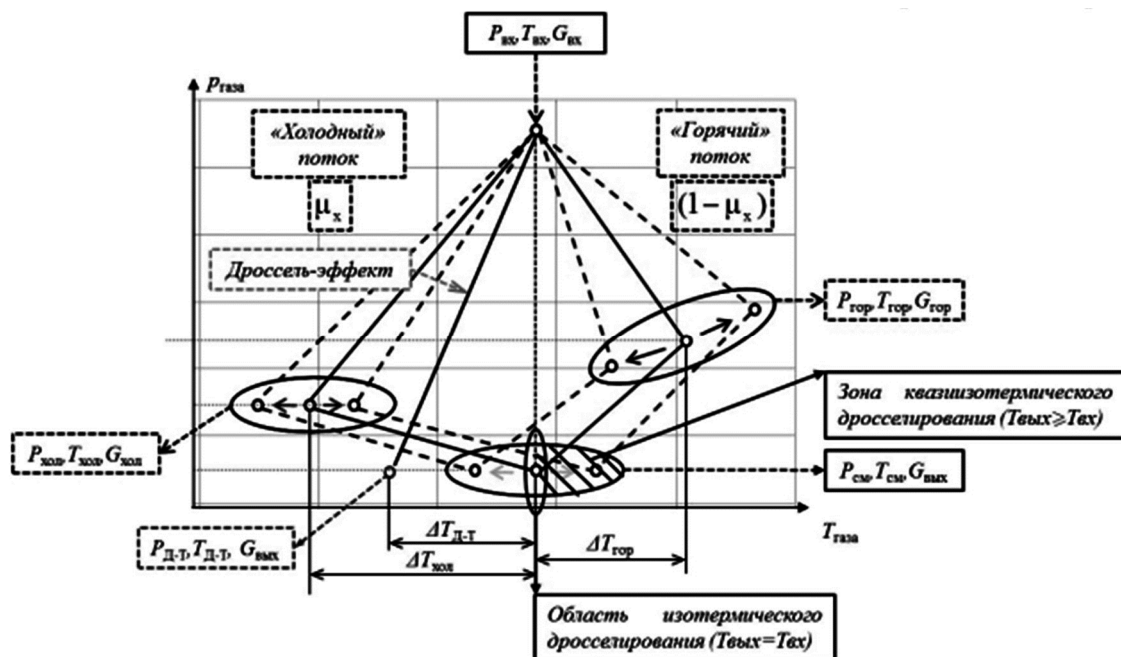


Рисунок 3 – Сравнительное представление дроссель-эффекта Джоуля-Томсона при потекании газа через гидросопротивление и процесса дросселирования в вихревой трубе с внешним смешением потоков

Повышение энергетической эффективности трубопроводных систем распределения и транспортировки природного газа является приоритетным направлением развития энергетики и энергетической эффективности промышленности Российской Федерации и входит в перечень критических технологий, определяющих процесс создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления энергетических ресурсов.

Предложенный способ энергоразделения потока обладает таким достоинством, как возможность осуществления нескольких процессов одновременно: охлаждения, нагрева и фазоотделения. Анализ научно-технической литературы и патентных документов позволяет предположить, что такие установки являются альтернативой современным установкам нагрева и охлаждения газа.

Список литературы:

1. Гурин С.В. Разработка технологии квазиизотермического редуцирования давления для объектов системы транспортировки и распределения природного газа : дисс. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2008.
2. Здитовец А.Г., Виноградов Ю.А., Стронгин М.М. Экспериментальное исследование безмашинного энергоразделения воздушных потоков в трубе Леонтьева // Тепловые процессы в технике. – 2015. – № 9. – С. 397–404.

3. Попович С.С. Влияние ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения : дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2016.
4. Белоусов А.М., Исрафилов И.Х., Харчук С.И. Вихревая труба Ранка-Хилша как перспективное устройство получения низких температур // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – СПб. : Изд-во С.-Пб. НИУ ИТМО, 2014. – № 2. – С. 36–44.
5. Регулятор давления газа РДУ-Т – новый способ борьбы с гидратообразованием. – URL : <http://www.staroruspribor.ru/articles/view/282.htm>
6. Хаит А.В. Исследование эффекта энергоразделения с целью улучшения характеристик вихревой трубы : дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2012. – 199 с.
7. Опыт реализации квазиизотермического редуцирования в вихревых регуляторах давления энергетических систем / Ю.М. Ахметов [и др.] // Вестник УГАТУ. – 2007. – Т. 9. – № 6 (24). – С. 3–6.

УКД 620.193

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Пашкова А.А.	Кубанский государственный технологический университет
Гиладев Г.Г.	Кубанский государственный технологический университет
Григорьев М.А.	Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Коррозия – это самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Причиной коррозии служит термодинамическая неустойчивость конструкционных материалов к воздействию веществ, находящихся в контактирующей с ними среде.

Борьба с коррозией – это не только продление срока службы нефтегазопромыслового оборудования, понижение эксплуатационных затрат на его ремонт, улучшение технико-экономических показателей добычи и подготовки нефти на промыслах. В конечном счете – это охрана экологии.

Ключевые слова: водоприток, ингибитор, коррозия, скважина.

Введение. Основные методы борьбы с коррозией нефтепромыслового оборудования, которые сегодня применяют отечественные и зарубежные компании, можно разделить на три группы: химические, физические и технологические.

Химические методы сформированы на применении химреагентов, в основном ингибиторов коррозии. Физические методы подразумевают использование коррозионно-стойких материалов, защитных покрытий и протекторной защиты. Технологические методы защиты от коррозии подразумевают корректировку коррозионных факторов в скважине – ограничение водопритока, предотвращение попадания кислорода, снижение скорости потока и температуры жидкости. Для каждого метода, используемого для борьбы с коррозией нефтепромыслового оборудования, свойственны свои особенности, преимущества и недостатки

Методология. Химические методы борьбы с коррозией основаны на использовании химреагентов – ингибиторов коррозии.

Наиболее эффективным методом защиты от коррозии нефтегазопромыслового оборудования является метод защиты с применением ингибиторов коррозии. Она основана на свойстве ингибитора подавлять коррозионные процессы до уровня, при котором сохраняется высокая надежность эксплуатируемого оборудования. Для каждого вида агрессивной среды следует подбирать индивидуальный ингибитор коррозии.

Нужно отметить, что ингибиторы коррозии в зависимости от направленного их действия на реагент – агрессор, способствующие вызвать коррозию металла (сероводород, кислород, углекислота, СВБ и или их комплексное присутствие) подразделяются на:

- ингибиторы сероводородной коррозии;
- ингибиторы кислородной коррозии;
- ингибиторы углекислотной коррозии;
- комплексные ингибиторы (сероводородной, углекислотной и кислородной коррозии);
- бактерициды.

В настоящее время существуют различные способы ингибиторной защиты нефтегазопромыслового оборудования и скважин:

- непрерывный ввод раствора ингибитора в добываемую или транспортируемую среду;

- периодическая обработка технологического и скважинного оборудования концентрированным раствором ингибитора;
- закачка ингибитора в пласт;
- закачка ингибитора в затрубное пространство скважины оборудованной пакерами и пр.

Ингибирование скважин оборудованных пакерами производится следующими способами:

- закачкой его в пласт;
- доставкой его на забой в желонке;
- заменой жидкости в НКТ двухпроцентным раствором ингибитора в углеводороде или в воде с доставкой его в последующем до забоя скважины.

При эксплуатации скважин, не оборудованных пакером, подача ингибитора производится закачкой ударной дозы ингибитора в затрубное пространство насосных скважин и его циркуляцией по НКТ. Первоначально закачивается ударная доза ингибитора с последующим переходом на непрерывную обработку при меньшей дозировке.

Физические методы: применение коррозионно-стойких материалов.

Коррозионностойкие материалы включают в себя низкой среднелегированные стали сплавы. При использовании низколегированных сталей рекомендуется дополнительно применять ингибитор коррозии.

Физические методы: использование защитных покрытий

Защитное покрытие противостоит таким коррозионным факторам, как агрессивная среда, бактерии и механический износ. Внутренние покрытия для труб в зависимости от химического состава подразделяются в основном на эпоксидные, фенольные, эпоксиднофенольные, новолачные, нейлоновые, уретановые и полиэтиленовые.

Есть специальные технологии нанесения защитных покрытий. Применяются следующие способы нанесения: высокоскоростное, электродуговое металлизационное, плазменное, газоплазменное напыление и плазменную наплавку. Эти технологии позволяют наносить в качестве покрытий нержавеющие сплавы на основе железа, сплавы на основе никеля, твердые сплавы, нержавеющие стали, монель, цинк, алюминий и их сплавы. Они обеспечивают высокую прочность сцепления покрытия с покрываемой поверхностью, но вместе с тем сложны с точки зрения технического исполнения и весьма дорогостоящие.

Физические методы: применение протекторной защиты

В ряду случаев для борьбы с коррозией применяются алюминиево-магниевые протекторы для УЭЦН. Принцип этой технологии заключается в том, что протектор поляризует сталь до безопасного потенциала, что приводит к окислению самого протектора. К преимуществам такого рода оборудования мы причисляем относительно низкую стоимость и значительный срок службы – до 5 лет при условии правильного подбора. Среди изъянов можно назвать увеличение габаритных размеров насосной установки, высокие требования к качеству подбора протектора

Технологические методы защиты нефтепромыслового оборудования от коррозии могут применяться как отдельно, так и в различных комбинациях.

Применение метода ограничения водопритока в скважину основано на необходимости капитального ремонта скважины в случае поступления воды из-за негерметичности эксплуатационной колонны и цементного камня. В случае прорыва воды в продуктивном пласте потребуется применение водоизолирующих составов. Реализация этого метода отличается высокой сложностью и сопряжена со значительными затратами.

Вывод

Необходимость осуществления мероприятий по защите от коррозии определено тем обстоятельством, что потери от коррозии приносят крайне большой ущерб. Основной вред от коррозии металла связан не только с потерей больших количеств металла, но и с порчей или выходом из строя самих металлических конструкций, т.к. вследствие коррозии они теряют необходимую прочность, пластичность, герметичность, тепло- и электропроводность, отражательную способность и другие необходимые качества. К потерям, которые терпит государство от коррозии, должны быть отнесены также колос-

сальные затраты на всякого рода защитные антикоррозионные мероприятия, убыток от ухудшения качества выпускаемой продукции, выход из строя оборудования, аварий в производстве и т.д.

Защита от коррозии является одной из важнейших проблем, имеющей большое значение для современной промышленности.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескопроявлений горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. редактор С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.

18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

19. Гилаев Г.Г., Пашкова А.А. Повышение эффективности выработки остаточных запасов на поздних стадиях разработки методом зарезки боковых стволов // Технические и технологические системы. Материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2021. – С. 235–246.

20. Гилаев Г.Г., Пашкова А.А. Ликвидация пескопроявлений в скважинах // Технические и технологические системы. Материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2021. – С. 247–254.

21. Гилаев Г.Г., Пашкова А.А. Комплексный подход борьбы с солеотложениями // Технические и технологические системы. Материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2021. – С. 255–266.

22. Гилаев Г.Г., Сузин К.К. Повышение эффективности добычи высоковязких нефтей путём установки электроприводных винтовых насосов (УЭВН) // Технические и технологические системы. Материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2021. – С. 295–305.

23. Гилаев Г.Г., Сузин К.К. Свойства водонефтяных эмульсий и способы предотвращения их образования в скважине // Технические и технологические системы. Материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2021. – С. 306–313.

24. Гилаев Г.Г., Сузин К.К. Эффективность интенсификации добычи нефти путём использования электротепловой обработки призабойной зоны пласта на примере боровского месторождения (УЭВН) // Технические и технологические системы. Материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2021. – С. 314–324.

УДК 691.175.5/8

НЕСОВМЕСТИМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СМЕСИ**Перухин
Марат Юрьевич****Казанский национальный исследовательский
технологический университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры
автоматизированных систем сбора и обработки информации
perukhin@inbox.ru

Аннотация. В статье проведен анализ полученных ранее автором данных. Показано, что использование полимерных смесей является перспективным направлением в области разработки полимерных композиций.

Ключевые слова: полимерные смеси, полимер, изоцианат, совместимость.

Смеси полимеров прочно вошли в нашу жизнь. Практически все, что нас окружает, выполнено из полимеров или смесей полимеров.

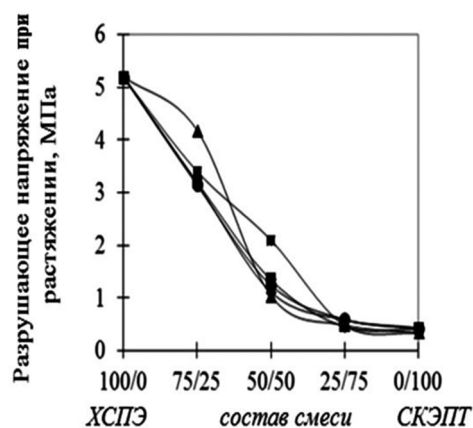
Встав утром и посмотрев в окно, мы даже не задумываемся о том, что наш взгляд падает сразу на два (как минимум) разновидностей полимеров к которым относится стекло (безуглеродный полимер) и дерево (целлюлоза, которая является природным полимером). Но к изделиям, выпускаемым промышленностью, предъявляются разнообразные требования. Все зависит от того где эти изделия будут использоваться и какие нагрузки будут воспринимать. Зачастую использование полимерных материалов (даже с модификаторами или наполнителями) не помогает достичь требуемых свойств. Поэтому в последние десятилетия все чаще используют смеси полимеров, которые обладают свойствами присущим обоим полимерам входящих в смесь. Таким образом, каждый из полимеров как бы нивелирует недостатки своего «напарника». К примеру, один из полимеров является эластичным, но прочность у него низкая, вторая фаза напротив, имеет высокую прочность, высокую стойкость к атмосферным воздействиям, чего нельзя сказать о первой фазе. Но если бы все было все так просто, то данное направление не продержалось бы так долго. Полимеры, входящие в смесевую композицию в своем большинстве не являются совместимыми, и при эксплуатации таких полимерных смесей будет происходить расслаивание.

Среди известных способов улучшения совместимости полимерных систем – введение в смеси (ди)блок-сополимеров, наполнителей или пластификаторов. Обычно полученный таким образом положительный результат объясняется улучшением свойств композиции за счет связывания полимерных фаз активной поверхностью вводимой корректирующей добавки. В этом качестве при создании смесевых композиций нередко используется и реакционноспособный модификатор, например, изоцианатной природы. При этом введение химически активного соединения является достаточно эффективным и технологичным методом регулирования эксплуатационных показателей смесевых композиций [1–5].

В работе было проведено изучение влияния изоцианата уретановой природы (СКУ-ПФЛ-100) на совместимость полимеров. Проведена комплексная оценка различными методами и показано что совместимость таких смесей полимеров как ХСПЭ-СКЭПТ наблюдается при малом содержании изоцианата (0,5–3 %) предварительно введенного в одну из фаз [1–4] что подтверждается данными физико-механического анализа.

Как видно, в полимерную смесь входят различные по полярности полимерные материалы. Полярность материалов играет немаловажную роль на совместимость полимеров. При этом возникает локальное растворение или локальная диффузия.

Данные подтверждаются механическими характеристиками полимерных смесей, электронной микроскопией, методом ЯМР, термомеханического анализа. Все эти методы подтверждают, что именно при соотношении полимеров ХСПЭ-СКЭПТ 75/25 %



-●- ХСПЭ/СКЭПТ контрольный; -▲- ХСПЭ/СКЭПТ + 0,5 % СКУ-ПФЛ; -■- ХСПЭ/СКЭПТ + 1 % СКУ-ПФЛ; -◆- ХСПЭ/СКЭПТ + 3 % СКУ-ПФЛ; -■- ХСПЭ/СКЭПТ + 5 % СКУ-ПФЛ

Рисунок 1 – Зависимость разрушающего напряжения при растяжении от состава смеси ХСПЭ/СКЭПТ, концентрации модификатора и порядка его введения

при введении модификатора изоцианатной природы совместимость полимеров повышается. Причем при предварительном введении изоцианата в СКЭПТ приближает последний по полярности к ХСПЭ. Смешение модифицированного СКЭПТ с ХСПЭ приводит, по-видимому, к тому, что добавка больше всего взаимодействует с хлорсульфированным полиэтиленом. Таким образом, помимо возможной диффузии сегментов одной фазы в другую, на границе раздела фаз могут образоваться соединения иной химической природы [1].

Интересной особенностью является то, что, используя наполнитель изоцианатной природы можно получить материал с той же прочностью что и у модифицированных композиций, но с удлинением как у термоэластопластов [6].

Использование изоцианатов в смесях полимеров является перспективным направлением.

Список литературы:

1. Перухин М.Ю. Клеевые и гидроизоляционные материалы на основе некоторых несовместимых полимеров : Дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.01. – Казань : КГЭУ, 2006. – 165 с.
2. Перухин М.Ю., Суханов П.П. Изоцианаты и их производные в несовместимых полимерных смесях : монография / КНИТУ. – Казань, 2014. – 116 с.
3. Суханов П.П. Анализ многокомпонентных полимерных систем методами ЯМР: олигомер-полимерные и фазовые превращения : монография / Казан. гос. техн. ун-т. – Казань, 2007. – 292 с.
4. Перухин М.Ю., Суханов П.П., Архиреев В.П. Роль малых добавок изоцианатов в формировании прочностных свойств смесевых полимерных композиций // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2008. – Т. 14. – № 4. – С. 597–603.
5. Суханов П.П., Перухин М.Ю., Архиреев В.П. Методика оценки совместимости блочных полимеров // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2008. – Т. 14. – № 1. – С. 105–110.
6. Суханов П.П., Перухин М.Ю., Архиреев В.П. О влиянии наполнителей уретановой природы на свойства полимеров и их смесей // Пластические массы. – 2008. – № 9. – С. 36–38.

УДК 622.24

**ЛИКВИДАЦИЯ ПРИХВАТОВ ТРУБНЫХ КОЛОНН
НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА****Пискарев
Сергей Анатольевич****Невское управление подземного хранения газа**
заместитель начальника подземного хранения газа по геологии
S_Piskarev@phg.gazprom.ru**Контарев
Алексей
Александрович****Научно-исследовательский институт природных газов и
газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ**
заместитель начальника лаборатории

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по выбору эффективных составов жидкостных ванн с целью ликвидации прихватов трубных колонн на подземных хранилищах газа (ПХГ).

Ключевые слова: подземное хранилище газа, скважина, прихват трубных колонн, жидкостная ванна.

При строительстве скважин на ПХГ прихват бурильного инструмента в всего происходит при бурении под эксплуатационную колонну.

Механизм возникновения прихвата сводится к образованию на забое или в кернах, а также на долоте и замках трубных колонн слипшихся глинистых частиц из частично размягченных обломков выбуренной или обваливающихся пород, все более уплотняющихся в процессе бурения скважины. В результате физико-химического взаимодействия глинистых частиц друг с другом, стенкой скважины и колонной труб образуется довольно прочный сальник, препятствующий движению бурильного инструмента вплоть до полной его остановки [1–4].

Для предупреждения прихватов трубных колонн применяются различные смазочные композиции и реагенты в качестве добавок в буровой раствор [5, 6], однако, в случае возникновения прихвата в результате сальникообразования одним из распространенных способов его ликвидации является установка жидкостных ванн [7–11]. Воздействие жидкостных ванн на сальник изучается на различных установках, позволяющих подобрать наиболее эффективный состав жидкостной ванны [12–17]. На рисунке 1. приведена схема лабораторной установки по выбору эффективного состава жидкостной ванны для ликвидации прихвата трубных колонн.

Модель соответствует прихвату трубных колонн в вертикальном участке ствола с непроницаемыми стенками. В этом случае усилие Q , необходимое для страгивания стержня запишется в следующем виде:

$$Q = G + S\tau, \quad (1)$$

где G – вес стержня; τ – касательные напряжения на поверхности соприкосновения стержня с сальником; S – площадь контакта стержня с сальником.

Чем меньше страгивающее усилие, тем эффективнее состав жидкостной ванны для ликвидации прихвата. Определив страгивающее усилие опытным путем, и решив уравнение (1) относительно касательных напряжений получим:

$$\tau = (Q - G) / S. \quad (2)$$

Напряжения τ , рассчитанные по формуле (2), использованы как показатель эффективности разупрочнения сальника под действием различных жидкостных ванн в течение времени $t = 4$ час. В качестве сальника использовали глинистую пасту, приготовленную по методике [16]. В качестве составов жидкостных ванн были использованы

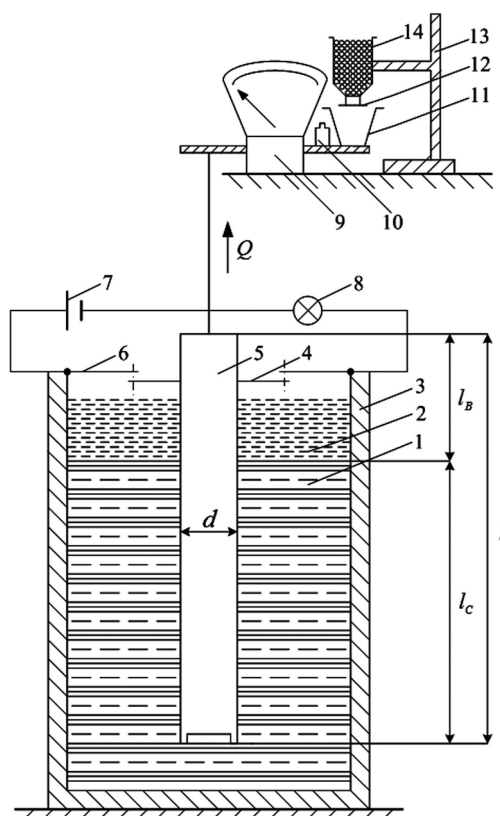


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки:

1 – сальник; 2 – жидкостная ванна; 3 – емкость; 4 – контактная пластина; 5 – стержень; 6 – замыкающая пластина; 7 – источник питания; 8 – электролампа; 9 – весы; 10 – груз; 11 – чашка; 12 – заслонка; 13 – штатив; 14 – сосуд с песком

20 %-й водный раствор сернокислого алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) и 20 %-й водный раствор гидроксилamina солянокислого ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) с добавками 10 % раствора глицерина ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$). Результаты опытов обработаны по формуле (2), записанной с помощью измеренных значений усилия Q и исходных данных в следующем виде:

$$\tau = \frac{Q - gm/l[l_B + l_C(1 - \rho_C/\rho)]}{\pi l_C d}, \quad (3)$$

где m – масса стержня, кг; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; $l_C = l_{\text{пр}} + l_B$ – длина стержня, м; $l_{\text{пр}}$, l_B – длина стержня в сальнике и над верхней границей зоны прихвата, м; d – диаметр стержня, м²; ρ , ρ_C – плотность материала стержня и сальника, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В таблице 1 приведены результаты исследований по определению страгивающего усилия Q и касательных напряжений τ , после установки исследуемых составов жидкостных ванн.

Таблица 1 – Значения усилий и касательных напряжений после воздействия исследуемых составов жидкостных ванн

Состав жидкостной ванны	Страгивающее усилие Q , Н	Касательные напряжения τ , Па
20 % $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + 10 % $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$	2,67	63,34
20 % $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ + 10 % $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$	2,41	48,61

Проведенные исследования показали, что жидкостная ванна на основе водного раствора гидроксилamina солянокислого с добавкой глицерина значительно снижает прочность сальника и усилие, необходимое для ликвидации прихвата по сравнению с другим составом.

Список литературы:

1. Рогов Е.А. Ликвидация прихватов при бурении глинистых пород // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 6. – С. 14–17.
2. Рогов Е.А. К вопросу ликвидации прихватов бурового инструмента на подземных хранилищах газа // Бурение и нефть. – 2015. – № 1. – С. 46–48.
3. Rogov E.A. Development of the composition of the process fluid to eliminate bit seizure // Journal of Mining Institute. – 2019. – Vol. 237. – P. 281–284. – DOI : 10.31897/PMI.2019.3.281.
4. Рогов Е.А., Леонов Е.Г. Выбор состава ванн для ликвидации прихватов трубных колонн // Бурение и нефть. – 2006. – № 4. – С. 11–14.
5. Рогов Е.А. Смазочные композиции для предупреждения прихватов бурильного инструмента // В сборнике: Технические и технологические системы. Материалы одиннадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2020. – С. 214–220.
6. Рогов Е. Предупреждение прихватов бурильного инструмента при бурении скважин // В книге: Новые идеи в науках о Земле : материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах. – М., 2019. – С. 295–296.
7. Рогов Е.А. Разработка методов оценки составов технологических жидкостей для разупрочнения глинистых образований при бурении скважин : Дис. ... канд. техн. наук / Научный центр нелинейной волновой механики и технологии Российской академии наук. – М., 2011. – 125 с.
8. Патент РФ на изобретение № 2374296. Состав ванны для ликвидации прихвата трубных колонн / Рогов Е.А. Оpubл. 27.11.2009. Бюл. № 33. Заявка № 2007125078/03 от 04.07.2007.
9. Патент на изобретение РФ № 2374297. Состав ванны для ликвидации прихвата трубных колонн / Рогов Е.А. Оpubл. 27.11.2009. Заявка № 2007125079/03 от 04.07.2007.
10. Рогов Е.А., Джафаров К.И. Состав жидкостной ванны для ликвидации прихвата трубных колонн // Бурение и нефть. – 2018. – № 1. – С. 52–54.
11. Рогов Е.А. Составы жидкостных ванн для ликвидации прихватов бурового инструмента на подземных хранилищах газа // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 9. – С. 66–69.
12. Патент РФ на полезную модель № 134585. Установка для исследования состава жидкостной ванны, ликвидирующей прихват трубных колонн в вертикальной скважине / Рогов Е.А., Исхаков А.Я., Солдаткин С.Г. Оpubл. 20.11.2013. Заявка № 2013126905/28 от 13.06.2013.
13. Патент РФ на полезную модель № 98589. Устройство для исследования состава жидкостной ванны, ликвидирующей прихват трубных колонн в наклонно-направленной скважине / Рогов Е.А. Оpubл. 20.10.2010. Заявка № 2010116875/28 от 28.04.2010.
14. Рогов Е.А. О коэффициенте трения бурильного инструмента о фильтрационную корку // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 434–436.
15. Патент РФ на полезную модель № 58709. Устройство для определения коэффициента трения фильтрационной корки / Рогов Е.А. Оpubл. 27.11.2006. Бюл. № 33. Заявка № 2006124602/22 от 10.07.2006.
16. Патент РФ на полезную модель № 162266. Установка для формирования фильтрационных корок / Рогов Е.А., Солдаткин С.Г., Джафаров К.И. Оpubл. 10.06.2016. Заявка № 2015154019/05 от 16.12.2015.
17. Патент РФ на полезную модель № 96962. Установка для проведения исследований / Рогов Е.А. Оpubл. 20.08.2010. Заявка № 2010111972/22 от 29.03.2010.
18. Разработка новой буферной жидкости для цементирования скважин / Е.А. Рогов [и др.] // Бурение и нефть. – 2003. – № 9. – С. 22–25.

УДК 622.27

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ ОБРАЗЦОВ**Пискарев
Сергей Анатольевич****Невское управление подземного хранения газа**
заместитель начальника подземного хранения газа по геологии
S_Piskarev@phg.gazprom.ru**Контарев
Алексей
Александрович****Научно-исследовательский институт природных газов
и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ**
заместитель начальника лаборатории**Тюхтина
Натела Сохатовна****Научно-исследовательский институт природных газов
и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ**
начальник лаборатории

Аннотация. В статье представлена методика и лабораторная установка для проведения экспериментов по определению проницаемости пористых образцов, после воздействия составов технологических жидкостей.

Ключевые слова: скважина, призабойная зона пласта, проницаемость, технологическая жидкость, образец.

В процессе вскрытия продуктивного горизонта на призабойную зону пласта (ПЗП) действует ряд факторов, снижающих ее проницаемость. Анализ научной литературы показывает, что основными причинами снижения проницаемости ПЗП является [1–5]:

- кольматация стенок скважины и порового пространства частицами буровых растворов;
- набухание ПЗП за счет проникновения фильтрата бурового и цементного растворов;
- адсорбция компонентов фильтрата бурового раствора и жидкости перфорации на поверхности пор и удерживание их различными силами, в том числе электрической природы;
- выпадение в осадок солей в результате взаимодействия фильтрата бурового раствора и жидкости перфорации с пластовой водой.

В настоящее время разработано множество технико-технологических решений, обуславливающих сохранение естественной проницаемости ПЗП на различных этапах заканчивания скважин, в том числе: совершенство конструкции скважины – открытый забой со спуском фильтра или без него [6, 7], вскрытие пластов с использованием различных рецептур буровых растворов [8–12], крепление эксплуатационных колонн с использованием цементных растворов и буферных жидкостей [13–16] и т.д. Однако, несмотря на применение новых технологий и средств, значительное количество скважин эксплуатируется с дебитами значительно меньше потенциальных [3]. Также при проведении капитальных ремонтов на месторождениях, и особенно на подземных хранилищах газа (ПХГ), при глушении скважин глинистым раствором происходит резкое ухудшение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пласта, поэтому для сохранения проницаемости ПЗП необходимо применять технологические жидкости при глушении скважин без твердой фазы [17–19].

В литературе удаление фильтрационных корок на стенках ПЗП и восстановление ее проницаемости изучается на лабораторных установках как простыми способами [20–24], не учитывающими некоторые факторы, так и сложными способами, позволяющими проводить эксперименты в условиях реальных давлений и температур [25–27]. Также для повышения производительности скважин и восстановления ФЕС пласта (особенно в нейтральный период перед отбором газа из ПХГ) в промысловых условиях

широко применяются различные способы и методы воздействия на ПЗП, из которых в качестве рабочих агентов наиболее эффективны составы технологических жидкостей физико-химического действия [28–31].

При выборе эффективного состава технологической жидкости следует исходить из того, что она должна обеспечивать следующие основные функции [2, 6, 32, 33]:

- обладать достаточно высокой реакционной способностью по отношению к фильтрационной корке и породе пласта;
- при взаимодействии с составляющими скелета горной породы не образовывать продуктов реакции, которые могли бы необратимо снизить проницаемость ПЗП;
- обладать минимальным коррозионным воздействием на подземное скважинное оборудование;
- быть технологичной, нетоксичной и пожаро-взрывобезопасной при проведении работ.

С целью выбора наиболее эффективного состава технологической жидкости для повышения проницаемости ПЗП на рисунке 1 представлена схема установки, позволяющая проводить исследования по определению проницаемости пористых образцов в условиях, моделирующих пластовые.

Позициями на рисунке 1 обозначены: 1, 11, 17 – вентили; 2 – корпус; 3 – затяжная гайка; 4 – поджимное кольцо; 5 – уплотнительный элемент; 6, 7 – металлическое и резиновое кольца; 8 – исследуемый состав технологической жидкости; 9 – глинистая корка; 10 – отвод для слива жидкости; 12, 16 – верхний и нижний перфорированные диски; 13 – сетчатый цилиндр; 14, 15 – частицы кварцевого песка разных диаметров.

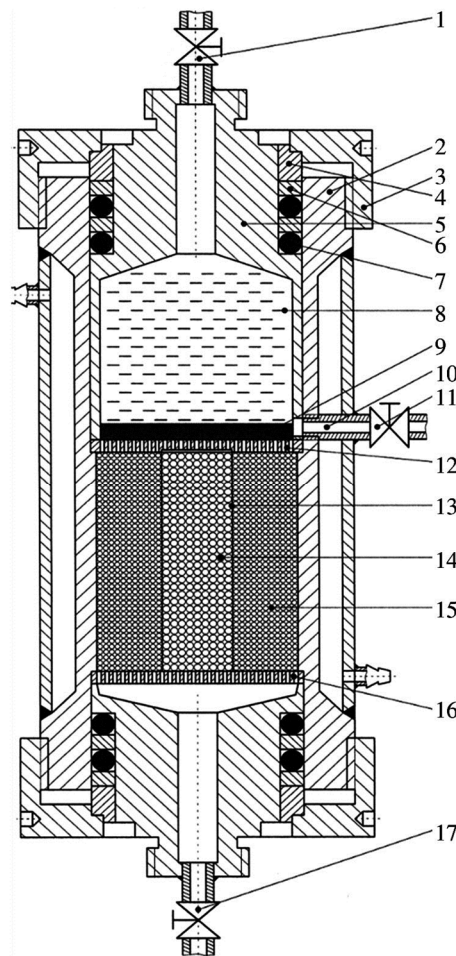


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Принцип формирования пористого образца заключается в следующем. На уплотнительный элемент 5 поочерёдно надеваются уплотнительные резиновые 7 и

металлические 6 кольца, которые фиксируются поджимным кольцом 4. Элемент 5 снизу вставляется в корпус 2 и затягивается затяжной гайкой 3. Сверху в корпус 2 помещается перфорированный диск 16 с прикрепленным к нему сетчатым цилиндром 13. Внутренняя часть цилиндра 13 заполняется навеской пористого материала большего диаметра, а внешняя часть – меньшего (на рисунке 1 диаметр частиц большего размера обозначен позицией 14, меньшего – 15). Далее сверху устанавливается другой перфорированный диск 12 с проточкой на сетчатый цилиндр 13. Сборка и установка верхнего элемента 5 производится аналогичным образом и зажимается гайкой 3. К корпусу 1 для термостатирования жидкости приварен кожух 15 со штуцерами 16.

Для оценки проницаемости образца используется закон Дарси, согласно которому коэффициент проницаемости определяется по формуле:

$$k = \frac{4\mu l Q}{\pi d^2 (P_1 - P_2)},$$

где μ – динамическая вязкость флюида, Па·с; d, l – диаметр и длина образца, м; P_1, P_2 – давление на входе и выходе соответственно, Па; Q – объемный расход жидкости в единицу времени, м³/с.

Исследования по изучению изменения проницаемости пористого образца проводятся в три этапа, в результате которых определяется:

- первоначальный коэффициент проницаемости пористого образца при фильтрации через него воды k_1 (естественная проницаемость образца);
- коэффициент проницаемости образца при фильтрации через него бурового раствора k_2 (кольматация пористого образца);
- коэффициент проницаемости пористого образца после физико-химического воздействия на него исследуемого состава технологической жидкости k_3 (декольматация пористого образца).

Вывод. Таким образом, предложенная методика и установка для ее реализации позволяет подобрать эффективный состав технологической жидкости с целью восстановления проницаемости ПЗП и повышения продуктивности эксплуатационных скважин.

Список литературы:

1. Рогов Е.А. Исследование эффективности воздействия комплексонов на восстановление проницаемости продуктивных горизонтов // Строительство скважин на суше и на море. – 2022. – № 10 – С. 48–52.
2. Рогов Е.А. Разработка методов оценки составов технологических жидкостей для разупрочнения глинистых образований при бурении скважин : Дис. ... канд. техн. наук / Научный центр нелинейной волновой механики и технологии Российской академии наук. – М. : 2011. – 125 с.
3. Рогов Е.А. Исследование проницаемости призабойной зоны скважин при воздействии технологическими жидкостями // Записки Горного института. – 2020. – Т. 242. – № 2. – С. 169–173.
4. Рогов Е.А. Выбор буферных жидкостей при цементировании газовых скважин // Газовая промышленность. – 2008. – № 2. – С. 54–56.
5. Рогов Е.А. Выбор состава технологической жидкости для очистки призабойной пласта от глинистых образований // Нефтепромысловое дело. – 2014. – № 10. – С. 41–43.
6. Рогов Е.А. Восстановление проницаемости призабойной зоны пласта в открытом стволе скважины // Нефтепромысловое дело. – 2015. – № 9. – С. 17–21.
7. Рогов Е.А., Контарев А.А. Восстановление продуктивности скважин путем строительства боковых стволов // Новые идеи в науках о Земле : материалы XV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах. – М., 2021. – С. 245–249.

8. Патент РФ на изобретение № 2388783. Способ приготовления глинистого раствора / Гайдаров М-М.Р., Рогов Е.А. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. № 13. Заявка № 2008135510/03 от 01.09.2008.

9. Патент РФ на изобретение № 2379324. Буровой раствор на углеводородной основе / Гайдаров М-М.Р., Рогов Е.А. Оpubл. 20.01.2010. Бюл. № 2. Заявка № 2008135526/03 от 01.09.2008.

10. Патент РФ на изобретение № 2382807. Способ приготовления бурового раствора с использованием полисахаридов / Гайдаров М.М.Р., Рогов Е.А. Оpubл. 27.02.2010. Бюл. № 6. Заявка № 2008135511/03 от 01.09.2008.

11. Патент РФ на изобретение № 2382808. Способ приготовления бурового раствора с использованием понизителя фильтрации полукolloидного типа / Гайдаров М-М.Р., Рогов Е.А. Оpubл. 27.02.2010. Бюл. № 6. Заявка № 2008135523/03 от 01.09.2008.

12. Патент РФ на изобретение № 2388784. Буровой раствор на углеводородной основе / Гайдаров М-М.Р., Рогов Е.А. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. № 13. Заявка № 2008135525/03 от 01.09.2008.

13. Разработка новой буферной жидкости для цементирования скважин / Рогов Е.А. [и др.] // Бурение и нефть. – 2003. – № 9. – С. 22–25.

14. Патент РФ на изобретение № 2309175. Буферная жидкость / Леонов Е.Г., Рогов Е.А., Джафаров К.И., Нифантов В.И., Литвинов Л.Н. Оpubл. 27.10.2007. Бюл. № 30. Заявка № 2004137512/03 от 22.12.2004.

15. Патент РФ на изобретение № 2455334. Буферная жидкость / Рогов Е.А., Солдаткин С.Г. Оpubл. 10.07.2012. Бюл. № 9. Заявка № 2010123283/03 от 07.06.2010.

16. Рогов Е.А. Буферная жидкость для цементирования скважин на подземных хранилищах газа // Газовая промышленность. – 2014. – № 3. – С. 60–62.

17. Патент РФ на изобретение № 2499019. Жидкость для глушения скважин / Рогов Е.А., Нифантов В.И., Исхаков А.Я. Оpubл. 20.11.2013. Бюл. № 32. Заявка № 2012116371/03 от 24.04.2012.

18. Рогов Е.А. Технологическая жидкость для глушения скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2017. – № 12. – С. 22–23.

19. Патент РФ на изобретение № 2617140. Жидкость для глушения скважин / Рогов Е.А., Солдаткин С.Г. Оpubл. 21.04.2017. Бюл. № 12. Заявка № 2016100641 от 11.01.2016.

20. Патент РФ на полезную модель № 162266. Установка для формирования фильтрационных корок / Рогов Е.А., Солдаткин С.Г., Джафаров К.И. Оpubл. 10.06.2016. Заявка № 2015154019/05 от 16.12.2015.

21. Патент РФ на изобретение № 2680274. Установка для оценки смывающей способности буферных жидкостей / Рогов Е.А. Оpubл. 19.02.2019. Бюл. № 5. Заявка № 2018102671 от 23.01.2018.

22. Патент РФ на полезную модель № 58709. Устройство для определения коэффициента трения фильтрационной корки / Рогов Е.А. Оpubл. 27.11.2006. Бюл. № 33. Заявка № 2006124602/22 от 10.07.2006.

23. Рогов Е.А., Грачев В.В., Леонов Е.Г. Методика оперативной оценки эффективности составов жидкостей для разглинизации пористых образцов // Строительство скважин на суше и на море. – 1999. – № 1–2. – С. 29–32.

24. Патент РФ на полезную модель № 96962. Установка для проведения исследований / Рогов Е.А. Оpubл. 20.08.2010. Бюл. № 33. Заявка № 2010111972/22 от 29.03.2010.

25. Рогов Е.А., Контарев А.А., Пискарев С.А. Методика оценки эффективности составов технологических жидкостей для восстановления проницаемости призабойной зоны пласта // Ашировские чтения. – 2021. – Т. 1. – № 1. – С. 300–304.

26. Патент РФ на полезную модель № 132200. Устройство для проведения исследований фильтрационных процессов в породе пласта при глушении скважин / Е.А. Рогов, С.Г. Солдаткин, М.Ю. Барщев. Оpubл. 10.09.2013. Бюл. № 25. Заявка № 2013118623/28 от 23.04.2013.

27. Рогов Е.А. Методика исследований фильтрационно-емкостных свойств на образцах горных пород // Ашировские чтения. – 2022. – Т. 1. – № 1. – С. 397– 03.

28. Патент РФ на изобретение № 2679936. Способ очистки призабойной зоны пласта от глинистых образований. Оpubл. 14.02.2019. Бюл. № 5. Заявка № 2018108337 от 06.03.2018.

29. Патент РФ на изобретение № 2617135. Способ очистки призабойной пласта от глинистых образований / Рогов Е.А. Оpubл. 21.04.2017. Бюл. № 12. Заявка № 2015155147 от 22.12.2015.

30. Патент РФ на изобретение № 2559267. Состав для обработки призабойной зоны пласта терригенных коллекторов / Рогов Е.А. Оpubл. 10.08.2015. Бюл. № 22. Заявка № 2014125461/03 от 24.06.2014.

31. Rogov E.A. Development of the composition of the process fluid to eliminate bit seizure. Journal of Mining Institute. – 2019. – Vol. 237. – P. 281 – 284. – DOI : 10.31897/PMI.2019.3.281.

32. Рогов Е.А. Технологическая жидкость для обработки призабойной зоны пласта терригенных коллекторов на подземных хранилищах газа // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 5. – С. 34–36.

33. Рогов Е.А. Состав технологической жидкости для декольматации призабойной зоны пласта // Строительство скважин на суше и на море. – 2016. – № 6. – С. 38–40.

УДК 622.276.6

**МНОГОСТАДИЙНЫЙ ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА:
СПОСОБЫ ПРОВЕДЕНИЯ****Плискина
Анна Ивановна****Кубанский государственный технологический университет**
студент
vinter_anna211@mail.ru**Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Гиладев
Геннадий Ганиевич****АО «Самаранефтегаз», Управление добычи нефти и газа**

Аннотация. В данной статье рассматривается многостадийный гидроразрыв пласта и способы его проведения при заканчивании скважин. Технология позволяет улучшить показатели разработки. Применение технологии позволяет увеличить эффективность разработки залежей горизонтальными скважинами. Также МГРП позволяет экономически эффективно разрабатывать пласты с низкой проницаемостью.

Ключевые слова: многостадийный гидроразрыв пласта, заканчивание, горизонтальные скважины.

Введение. Гидроразрыв пласта – это передовой технологический процесс интенсификации добычи, сопровождающийся увеличением бокового горизонтального бурения скважин и закачкой жидкости гидроразрыва под высоким давлением для открытия новых или расширения существующих трещин в породе, способствующих миграции природного газа к поверхности. Гидравлический разрыв пласта может создать площадь контакта, в тысячи раз превышающую ту, которая достигается при обычном методе вертикального бурения, что значительно увеличивает добычу природного газа из одной скважины.

Жидкость для гидроразрыва пласта необходима для создания трещин. ГРП проводится в несколько этапов, и скважины могут подвергаться гидроразрыву несколько раз, чтобы максимально продлить срок их службы. Исходя из характеристик пласта, для повышения эффективности ГРП можно использовать различные комбинации жидкостей для гидроразрыва. Хотя на практике в качестве жидкости для ГРП используются нефть, вода, метанол или комбинация воды и метанола, преобладающими типами жидкостей для ГРП при добыче нетрадиционного сланцевого газа являются жидкости на водной основе, поэтому данный обзор будет посвящен общему воздействию работ по ГРП на водной основе на поверхностные и подземные воды.

Методология. Одним из способов поддержания рентабельных уровней добычи является применение новых систем заканчивания скважин, в том числе горизонтальных скважин (ГС) с МГРП. Гидравлический разрыв пласта является важной частью заканчивания строительства скважин, главной задачей проведения гидравлического разрыва пласта является создание надежной гидродинамической связью скважина-пласт. Технология ГРП заключается в создании высокопроводимой трещины в целевом пласте под воздействием прокачиваемой в него жидкости и расклинивающего элемента (проппанта).

Многостадийный ГРП – это передовая технология гидроразрыва пласта, которая наиболее эффективна в горизонтальных скважинах и низкопроницаемых коллекторах. В горизонтальных скважинах многостадийный ГРП предполагает проведение гидроразрыва пласта по очереди, начиная со дна скважины. По завершении каждого

этапа ГРП в скважину спускается баллон, который изолирует предыдущий интервал и открывает ствол для следующего интервала. В настоящий момент технологию МГРП можно поделить на два основных вида: общая технология и технология с использованием пакерных компоновок.

Вся эта технология осуществляет многоступенчатый гидроразрыв пласта с помощью устройства со специальным соплом в скважине. Устройство создает высокопроводящие трещины в пласте по мере продвижения через цементированный горизонтальный участок и нагнетает проппанты.

Второй тип технологии – использование комплектов валиков. Горизонтальная часть скважины облицована, и каждый интервал имеет циркуляционную манжету с открывающимся окном. Переборки герметично закрыты и предотвращают сообщение между внутренней частью скважины и заколонным пространством.

Во время гидроразрыва пласта последовательно сбрасываются сферы калиброванного размера, начиная с наименьшего диаметра. Во время промывки они оседают на седлах и открывают их, обеспечивая связь с пластом для дальнейшего гидроразрыва.

Использование периодического гидравлического заканчивания скважин снижает технологический риск за счет уменьшения количества рейсов, необходимых для установки и удаления мостовых пробок, и повышает эффективность операций ГРП за счет учета параметров отдельных зон.

На основе данных, рассчитанных при гидродинамическом моделировании, проводится технико-экономическое обоснование для определения сетки скважин, длины горизонтального участка и расстояния между трещинами в результате процесса гидроразрыва пласта. Высокотехнологичная конструкция скважины, помимо дебита, должна позволить быстро провести повторный гидроразрыв пласта без дорогостоящих первоначальных работ. Процентное содержание проппанта также влияет на качество гидроразрыва.

Использование распространенной технологии каротажа скважин предоставляет уникальную возможность для поиска новых трещин с помощью гидравлического разрыва пласта. Внедрение многоразовых открытых и закрытых отверстий позволяет повторно герметизировать или изолировать отдельные интервалы трещин в случае попадания воды.

В этом смысле технология многостадийного ГРП экономически эффективна для скважин с низкой проницаемостью, что в свою очередь дает возможность использовать больший объем пласта в зоне проникающего ГРП.

Обсуждение. Технология многостадийного гидроразрыва пласта, предполагающая непосредственное образование трещин на различных участках ствола скважины, получила широкое распространение при разработке горизонтальных скважин. Добыча углеводородов в низкопроницаемых коллекторах требует нескольких этапов заканчивания, гидроразрыва пласта и горизонтального бурения, чтобы быть экономически целесообразной.

В горизонтальных скважинах, пробуренных в несколько слоев, непрерывный гидроразрыв пласта можно проводить отдельно в каждом стимулируемом интервале с помощью системы затрубного пакера в незавершенной скважине. Установка этой системы требует использования специальной обсадной трубы. Эта обсадная колонна имеет отверстия, которые после прохождения через нее помещаются перед каждым изолированным интервалом с помощью кольцевых пакеров. Эти интервалы будут делиться один за другим, начиная с забоя скважины.

В конце каждого этапа ГРП в ствол скважины спускается цилиндр, чтобы изолировать предыдущий интервал и открыть обсадную скважину перед следующим интервалом обработки. В настоящее время гидроразрыв пласта часто используется в сочетании с другими технологиями для повышения нефтеотдачи, хотя они постоянно совершенствуются.

Выводы. Гидроразрыв пласта является важной частью заканчивания строительства скважин. Технология многостадийного гидроразрыва пласта экономически эффективна для скважин с низкой проницаемостью, что в свою очередь дает возможность использовать больший объем пласта. Применение технологии позволяет увеличить эффективность разработки залежей горизонтальными скважинами.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмаилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескопроявлений горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. редактор С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.
19. Гилаев Г.Г. Способы решения проблемы высокого затрубного давления, создаваемого попутным нефтяным газом, в скважинах, эксплуатирующихся УЭЦН // Ашировские чтения. – 2021. – Т. 1. – № 1 (13). – С. 233–236.

УДК 620.193.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИНГИБИТОРОМ КОРРОЗИИ КИ-1М****Полынский
Игорь Владимирович****Иркутский национальный исследовательский
технический университет**
аспирант
polinigor@yandex.ru**Полынская
Мария Михайловна****Иркутский государственный университет путей сообщения**
кандидат экономических наук,
доцент кафедры управления качества и инженерной графики
marypo1976@yandex.ru**Анциферов
Евгений
Александрович****Иркутский национальный исследовательский
технический университет**
кандидат химических наук,
директор Института высоких технологий
antsiferov@istu.edu

Аннотация. Методами импедансной спектроскопии и поляризационных кривых исследованы эпоксидные покрытия на стали марки Ст20 которые в своем составе содержат ингибитор коррозии КИ-1М. Введение в состав стандартных смол ингибитора приводит к снижению влагопоглощения отвержденной смолы. Основной функцией добавки КИ-1М следует считать непосредственную блокировку центров коррозии на поверхности металла, обеспечивая длительную эксплуатацию подобных защитных покрытий даже в случае нарушения их целостности.

Ключевые слова: эпоксидные смолы, композитные материалы, ингибитор коррозии КИ-1М, импедансная спектроскопия, метод поляризационных кривых.

Защита металлических конструкций от воздействия окружающей среды и воздействия различных агрессивных сред в современном мире стоит особо остро. Для этих целей применяют различные виды и способы нанесения защитного покрытия и применяют различные виды ингибиторов коррозии. Материалы на основе эпоксидных композиций обладают комплексом уникальных свойств – хорошая адгезия к любым материалам, малая усадка при полимеризации, технологичностью применения.

Эпоксидная смола представляет собой термореактивный полимер с исключительной механической прочностью, термической стабильностью и химической стойкостью [1]. Легкое введение различных химических соединений в эпоксидную матрицу послужило стимулом для обширных исследований в области защиты материалов от коррозии [2].

Для оценки свойств разрабатываемых покрытий с успехом используются экспериментальные методы импедансной спектроскопии, позволяющие оценивать антикоррозионную эффективность покрытий как в лабораториях, так и в производственных условиях [3].

Большинство модификаций эпоксидных смол направлено на увеличение коррозионной защиты металла, на который нанесено покрытие. Для этой цели добавка, вносимая в состав композита, должна иметь ингибирующие свойства.

Известно, что амины, соли аминов, четвертичные аммониевые соединения широко используются в качестве ингибиторов коррозии нефтепромышленного оборудования в нефтяной промышленности [4].

Хорошо зарекомендовавший себя и коммерчески доступный ингибитор коррозии КИ-1М относится к комбинированным ингибиторам, которые состоят из нескольких компонентов. В своем составе он содержит катапин и гидрохлорид гексаметилентетрамина. Катапин представляет собой смесь алкилбензилпиридилий хлоридов и выступает в качестве катионного поверхностно-активного вещества. Гексаметилентетрамин – полициклический

амин, известный как уротропин или метенамин. Ингибитор КИ-1М используется для защиты от кислотной коррозии некоторых цветных и черных металлов. Вещество эффективно в растворах фосфорной и серной кислот (концентрация до 50 %), а также в плавиковой и соляной кислотах (концентрация до 30 %).

Возможность применения в качестве добавки к стандартным эпоксидным композициям комбинированного ингибитора на основе КИ-1М с целью улучшения их защитных свойств составляет основную задачу работы.

Для приготовления образцов покрытий использовались эпоксидные смолы ЭД-20 и ЭД-22, которые представляют собой смолы на основе бисфенола А для производства защитных покрытий и герметиков. Для этих смол доля эпоксидных групп составляет 20 % и 22 % соответственно, а основное различие обусловлено вязкостью и временем желатинизации. Приготовление составов композитов производилось с учетом стехиометрических соотношений смола/отвердитель.

В качестве отвердителя использовались стандартные составы: полиэтиленполиамин (ПЭПА) и модифицированный аминный отвердитель М-4. Ингибитор коррозии вводился в отвердитель из расчета 10 весовых процентов от массы отвердителя.

Для испытания полученных составов использовали оригинальные электроды цилиндрической формы, выполненные из стали марки Ст20, на полированной и обезжиренной поверхности которых выполнялось непосредственное отверждение приготовленной композиции в течении 48 часов при комнатной температуре. Таким образом, в качестве объектов исследования нами были получены покрытия эпоксидных композиций площадью 3 см², нанесенные на стальные полнотельные стержни. Толщина покрытия составляла порядка 200 мкм и не содержала механических повреждений, обеспечивающих непосредственный контакт электролита с электродом. Водопоглощение отвержденных смол измерялось гравиметрическим способом на образцах в виде дисков, отлитых из композитных составов.

Измерения импедансной спектроскопии проводили на приборе PGSTAT 302N (Metrohm Autolab) в диапазоне от 100 кГц до 50 Гц амплитудой 10 mV в 3 электродной электрохимической ячейке: рабочий электрод покрытый эпоксидными композициями, вспомогательный электрод – платиновый и хлоридсеребряный электрод сравнения. Все измерения проводились при постоянном поддержании температуры в ячейке 25 °С, в 3 % растворе NaCl. Рабочие электроды выдерживались в 3 % растворе NaCl в течении 7 дней для насыщения покрытия электролитом.

Систему металл – покрытие – электролит следует рассматривать как электрохимически активную, имеющую специфические свойства, связанные с наличием на поверхности металла пленки эпоксидного покрытия, изменяющего характер диффузии реагирующих веществ и кинетику электрохимических реакций [5]. Эта система, следовательно, может описываться стационарными потенциалами, поляризационными характеристиками, омическим сопротивлением, емкостью, скоростью диффузии.

Большинство полученных годографов импеданса представляют собой прямую вертикальную линию (рис. 1), соответствующие последовательно соединенным сопротивлению и емкости. Это позволяет сделать вывод, что эпоксидное связующее представляет собой достаточно однородную диэлектрическую среду. Следует отметить, что из-за высокого сопротивления покрытий наблюдался довольно большой разброс данных при низких частотах. Для образцов 3 и 7 годографы импеданса соответствуют эквивалентной схеме параллельно соединенных элемента постоянной фазы и сопротивления, соответствующего активной составляющей импеданса (рис. 2). Физическим аналогом системы с распределенными параметрами в рассматриваемом случае являются каналы-проводники, пронизывающие покрытие.

По мере выдержки образцов в агрессивной среде, наблюдается уменьшение составляющих импеданса, но форма годографа сохраняется. Это свидетельствует о том, что несмотря на влагонаполнение покрытия, коррозионный процесс на стальном электроде еще не вносит существенных изменений в электрохимическое поведение исследуемой системы.

Многие покрытия, обладающие химической стойкостью, высокими водо- и паронепроницаемостью и сплошностью в случае механических повреждений быстро выйдут из строя – коррозионно-активная среда проникает под пленку, активизируя коррозионный процесс, распространяющийся в стороны от повреждения, в результате чего

наблюдается отслоение покрытия. Поэтому значительная доля работ в области исследования коррозионной стойкости таких систем посвящена методам оценки защитных свойств покрытий с нанесенным искусственным дефектом, имитирующим нарушение сплошности защитного покрытия [6].

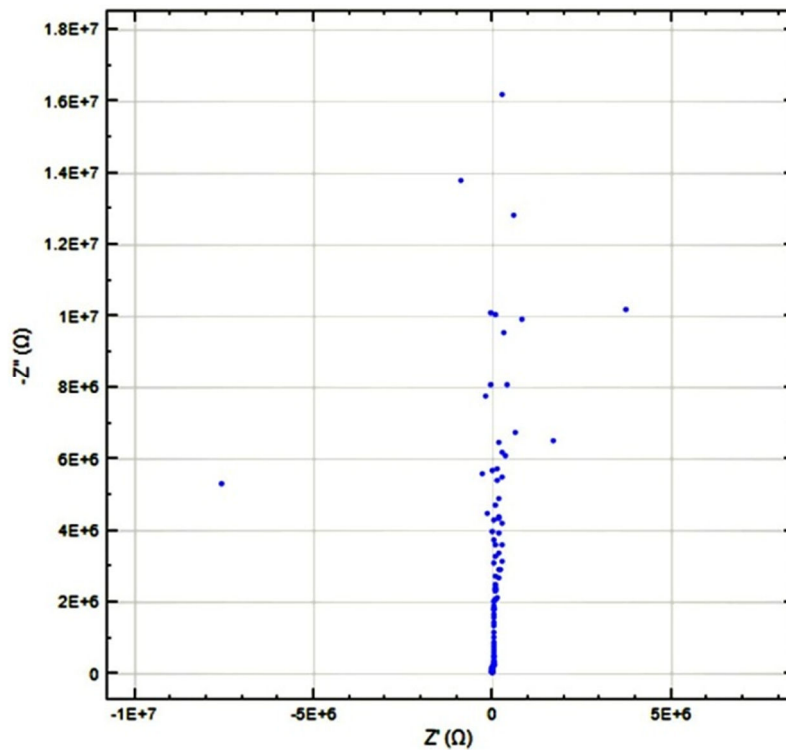


Рисунок 1 – Годограф импеданса образца покрытия 2

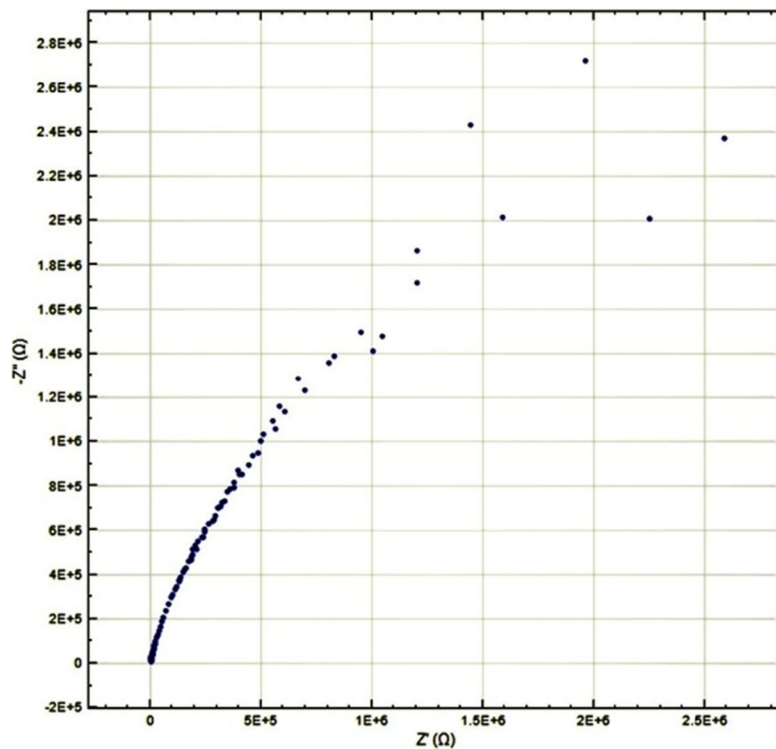


Рисунок 2 – Годограф импеданса образца покрытия 3

Одним из методов подобного исследования является метод поляризационных кривых [7]. Инструмент анализа наклона кривой Тафеля обеспечивает оценку плотности тока коррозии, на основании которого можно определить скорость коррозии и защитную эффективность исследуемого ингибитора.

Измерение коррозии проводилось в программе измерения линейной поляризации в диапазоне потенциалов от -0.1 В до 0.1 В и токов от 100 нА до 1 мА, в 3-электродной электрохимической ячейке. Полученные кривые Тафеля для электродов с нарушенными покрытиями 1–8 обрабатывались при помощи программного обеспечения NOVA 1.8, позволяющего рассчитывать значение скорости коррозии.

Полученные данные (табл. 1) свидетельствуют о том, что введение в состав эпоксидной смолы ингибитора значительно снижает скорость коррозии металла под покрытием, обеспечивая защиту поверхности в приграничной зоне контакта с электролитом.

Таблица 1 – Состав и характеристики исследованных композитов

№	Состав	Ингибитор	Водопоглощение, %	Скорость коррозии, мм/год
1	ЭД-20, М-4	-	0.12	0.45
2	ЭД-20, М-4	+	0.10	0.07
3	ЭД-20, ПЭПА	-	0.27	0.40
4	ЭД-20, ПЭПА	+	0.13	0.10
5	ЭД-22, М-4	-	0.13	0.62
6	ЭД-22, М-4	+	0.09	0.12
7	ЭД-22, ПЭПА	-	0.25	0.53
8	ЭД-22, ПЭПА	+	0.17	0.16

Дальнейшее выдерживание поврежденных образцов в агрессивной среде позволяет визуально оценить различия в поведении покрытия. Для образцов без добавки ингибитора КИ-1М область распространения коррозионных процессов значительно увеличена и приводит к отслоению эпоксидного состава.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что использование в составе стандартных эпоксидных композиций добавок традиционного ингибитора коррозии КИ-1М приводит к изменениям структуры и морфологии трехмерной сетки композита. Такие изменения отражаются на влагопоглощении образца, что в первую очередь влияет на доступность агрессивной среды к поверхности металла. Основной функцией добавки КИ-1М следует считать непосредственную блокировку центров коррозии на поверхности металла, обеспечивая длительную эксплуатацию подобных защитных покрытий даже в случае нарушения их целостности.

Список литературы:

1. Fan-Long Jin, Xiang Li, Soo-Jin Park. Synthesis and application of epoxy resins: A review // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. – 2015. – V. 29, – P. 1–11.
2. Baoli Ou., Yuwei Wang, Yi Lu. A review on fundamentals and strategy of epoxy-resin-based anticorrosive coating materials // *Polymer-Plastics Technology and Materials*. – 2021. – V. 60. – I. 6. – P. 601–625.
3. Майорова Н.В., Еремеева Т.В. Принципиальные подходы к прогнозированию сроков службы атмосферостойких полимерных покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. – 1997. – № 11. – С. 8–10.
4. Угрюмов О.В., Ившин О.В., Фахретдинов П.С. Ингибиторы коррозии металлов ряда N-[изонил феноксиполи (этиленокси) карбонилметил] аммоний хлоридов. I. Ингибирование коррозии стали в солянокислых водных средах // *Защита металлов*. – 2001. – Т. 37. – № 4. – С. 380–385.
5. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов : учебное пособие – М. : Альянс, 2014. – 472 с.
6. Методы оценки противокоррозионной эффективности лакокрасочных покрытий / А.В. Сороков [и др.] // *Вестник технологического университета*. – 2012. – Т. 15. – В. 24. – С. 68–75.
7. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Пассивность и защита металлов от коррозии. – М. : Наука, 2013. – 318 с.

УДК 622.276.6

**СИСТЕМНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ
С УЧЕТОМ УПРУГОЙ НАСЫЩЕННОЙ СРЕДЫ****Попряга
Игорь Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
бакалавр
G_Gred@inbox.ru**Гиляев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Хафизов
Вадим Мирхатимович****АО «Самаранефтегаз», Управление добычи нефти и газа**
начальник управления добычи нефти и газа
m-hab@mail.ru

Аннотация. В связи с существенным изменением структуры запасов нефти, увеличением доли трудноизвлекаемых запасов, расположенных в низкопроницаемых, расчленённых коллекторах месторождений нефти, возрастает роль геолого-технических мероприятий, позволяющих существенно повысить коэффициент нефтеизвлечения. В настоящее время в процессе разработки месторождений нефти находится большое количество пластов, представленных низкопроницаемыми коллекторами или коллекторами разной проницаемости. Месторождения, в своем большинстве, характеризуются значительной и к тому же растущей обводнённостью продукции пластов, неоднородностью продуктивных пластов по проницаемости, повышенной гидрофильностью пород и относительно низкой нефтенасыщенностью.

Ключевые слова: нефть, добыча, отдача, геология, место рождения, пласт.

Введение. Во всем мире эффективность добычи нефти из нефтеносных пластов при нынешнем промышленном развитии считается неудовлетворительной. От первоначальных геологических запасов нефти в нефтенасыщенных пластах остается большой объем сырья – от 50 до 70 %. Остаточные запасы нефти на нескольких разрабатываемых месторождениях варьируются в более широком диапазоне (40–90 %) в зависимости от сложности условий и структуры разработки. В последнее время все больше внимания уделяется методам интенсификации добычи нефти.

Методология. Разработка нефтяных месторождений обычно начинается в естественных условиях, не затрагивая пласт, нагнетательные скважины еще не построены, закачка воды не происходит. Пластовая энергия используется для добычи нефти и ее притока к забоям добывающих скважин. Прежде чем мы поговорим о типах пластовой энергии, давайте рассмотрим естественное состояние пласта до его первоначального вскрытия бурением [4].

Из-за различных геологических особенностей формирования и залегания залежей в пластах могут наблюдаться аномально низкие (ANPD) и аномально высокие (AVPD) пластовые давления. Для месторождений с ANPD часть нагрузки вышележащих пород приходится на плотные породы, не являющиеся коллекторами. В этом случае пластовое давление определяется непосредственно путем измерений, горное давление должно определяться с учетом сложных условий залегания. Нагрузка от вышележащих пород определяется не по формуле, а как для многослойной плиты, с разной толщиной слоя и распределением напряжений между слоями.

Режимом эксплуатации месторождения называют проявление преобладающего типа пластовой энергии в процессе разработки. В соответствии с преобладающим типом пластовой энергии различают режимы эксплуатации (разработки) нефтяных залежей. Упругий режим – характеризуется превышением пластового давления над давле-

нием насыщения углеводородами – нефть находится в однофазном состоянии. Фильтрация нефти происходит за счет упругой энергии деформации нефти и пласта. Давление из резервуара в контуре подачи к давлению на дне скважины изменяется логарифмически. На дне скважины образуется воронка с углублением [12]

При стационарной фильтрации давление в контуре подачи является постоянным, поддерживаемым за счет пластовых вод пласта или давления, создаваемого нагнетательными скважинами.

Если месторождение литологически ограничено, то выполняется замкнуто–упругий режим. В этом случае давление в питающем контуре падает, депрессия уменьшается, дебиты скважины снижаются.

Упруговодонапорный режим осуществляется при наличии активных законтурных пластовых вод. Вытеснение нефти происходит за счет упругой энергии пластовых вод при наличии хорошо проницаемой и достаточно обширной водонасыщенной зоны. С момента начала распространения воронки депрессии за пределы внутреннего контура нефтеносности и вторжения в законтурную водоносную область вода внедряется в нефтяную зону, происходит процесс вытеснения нефти водой к забоям добывающих скважин. Начинается совместная фильтрация нефти и пластовой воды, продукция начинает обводняться, хотя нагнетание воды пласт еще не происходит. Если количество отбираемой жидкости (нефть+вода) равно количеству поступающей в чисто нефтяную зону пластовой воды, то такой режим называется жестким водонапорным. В естественных условиях такой режим практически не встречается, но его выделение способствует надежному и успешному проектированию процесса извлечения нефти. Нарушение баланса между отбором жидкости и поступлением в пласт свидетельствует о том, что работают другие виды энергии. Количество поступающей в пласт воды из законтурной области можно определить по формуле Пилатовского [10]

В России не ставится такая важная задача, как повышение гибкости всей системы функционирования нефтяной отрасли для быстрого и эффективного реагирования на изменения условий поиска, разведки, освоения и отработки залежей углеводородов. Организация работы отрасли была сосредоточена в первую очередь на поиске решений, обеспечивающих быструю отдачу, как правило, в краткосрочной перспективе. Это предполагает регулярный переход из одной новой провинции в другую, выявление крупных месторождений, поиск эффективных инженерных решений для ввода в эксплуатацию уникальных объектов. В конечном счете, это означает постоянное внимание к минимизации затрат на единицу объема добываемого сырья из-за действия природных факторов.

Система работала очень хорошо в случае крупных и уникальных объектов и начала давать сбои, как только изменились условия ее функционирования, в первую очередь из-за истощения залежей, что привело к вовлечению в оборот «нетрадиционной» нефти. В условиях истощения запасов на традиционных месторождениях и изменения условий добычи вряд ли имеет смысл следовать некогда зафиксированным проектным решениям. Целесообразнее уточнять и детализировать принципиальные решения в режиме мониторинга (например, пошагово) на основе более широкого применения процедур согласования взаимоприемлемых решений (в мире разработано множество аналогичных процедур, в том числе с учетом антикоррупционной составляющей). Существует определенное противоречие между значительным минерально-сырьевым потенциалом страны и возрастающей сложностью и неоднородностью ее состава.

Разрешение противоречия видится не только в интенсификации и интенсификации работ по геологическому изучению недр, поиску и разведке новых традиционных месторождений, но и в формировании условий, которые стимулировали бы снижение сначала ставки, а затем и абсолютных значений затрат на разработку минеральных ресурсов. Одним из основных факторов является иная последовательность и другие временные рамки для осуществления различных этапов изучения и разработки минеральных ресурсов. Поэтому не случайно ведущие эксперты в области разработки нефтегазовых ресурсов отмечают, что «Разработка нетрадиционных, трудноизвлекаемых запасов нефти и газа с использованием традиционных методов и технологий нерациональна. Необходимо находить и использовать нетрадиционные идеи, методы, технологии...» [7].

Решение видится в формировании гибких процедур взаимодействия государства и недропользователей. Например, утверждение – это не детальный проект, а принципиальная схема разработки объекта, утверждающего не только углеводороды, но и другие полезные ископаемые. Не утверждение запасов, а оценка сырьевого потенциала, основанная

на «лучших практиках» и основанная на заинтересованности инвестора в возврате вложенных им средств. В дальнейшем, с определенной периодичностью, его уточнение в режиме диалога, а не контроль исполнения правил прямого действия.

России нужно не просто рациональное (прежде всего с точки зрения экологии) недропользование, а недропользование, ориентированное на рост социально-экономической отдачи от огромного ресурсного потенциала, которым обладает страна. Последнее предполагает развитие наукоемкой и конкурентоспособной отрасли по производству машин и оборудования для минерально-сырьевого сектора страны, а также внедрение современных методов добычи и переработки добытых полезных ископаемых в стране. В то же время первостепенное значение имеют затраты на всех этапах разработки минеральных ресурсов и качественные характеристики производимого оборудования и продукции. Для реализации потенциала нетрадиционных источников, например, углеводородов, необходима иная конфигурация ресурсного режима – от владения недрами до эффективного распределения [8].

Для формирования инновационной и конкурентной среды в этой области необходимо радикально упростить лицензионные и технические правила и процедуры. Целесообразно выдавать лицензии на добычу углеводородов на таких участках на основании заявления заинтересованного лица, без проведения торгов и взимания единовременной платы за пользование недрами. Функции регулятора в данном случае заключаются в том, чтобы быстро убедиться, что заявленный участок не наложен на территории заповедников и земель обороны, не подпадает под другие ограничения.

В этой системе нет необходимости утверждать запасы до начала их освоения и разработки, согласовывать проектные решения с государством. Если мы говорим здесь о разработке новых технологий и подходов, то процесс утверждения проектных решений на основе предписанных правил, ориентированных на разработку традиционных месторождений, будет ненужным препятствием. Единственным документом, необходимым для недропользователя, может быть проект наземного обустройства лицензионного участка (предмет градостроительной экспертизы наземной части и оценки воздействия на окружающую среду). Основной акцент следует делать на экологических условиях строительства промышленных сооружений (например, на требованиях к гидроразрыву пласта и условиях горизонтального бурения скважин), на регулярности отчетов о выполненных операциях, унификации условий измерений и отчетности по ним [4].

Огромную роль в разработке таких месторождений играет обеспечение транспортной и трубопроводной инфраструктурой, наличие компаний-подрядчиков, обладающих современными технологиями и навыками работы. Для новых игроков («технологических юниоров») целесообразно гарантировать доступ к перерабатывающим мощностям вертикально интегрированных нефтяных компаний. В противном случае «инновационное масло» будет обработано «самоварным» способом. Доступ инновационных компаний к источникам долгового финансирования также играет важную роль. Участниками процесса освоения новых и осваиваемых объектов должны быть не только национальные нефтяные компании, но в первую очередь малые и средние компании (как это широко практикуется в Республике Татарстан), обладающие знаниями, опытом и желанием работать с такими объектами.

Мировой топливно-энергетический сектор динамично развивается благодаря гибкому и динамичному балансу между мощью гигантов и гибкостью малых и средних инноваторов (в странах, занимающихся активной разработкой нетрадиционных запасов, более 60 % добычи нефти обеспечивается такими компаниями; «сланцевая революция» во многом является результатом их активных усилий). Современные знания и инновации в секторе минеральных ресурсов, которые «задают» его современную динамику, как правило, уже имеют иную природу происхождения, распространения и коммерциализации, существенно отличающуюся от промышленной системы [2].

Выводы. Таким образом, влияние окружающей среды отражается в том факте, что более сложная «сетевая структура» пришла на смену традиционной «линейной модели» вовлечения всех природных ресурсов без исключения. Его отличительной особенностью является наличие постоянных «возвратов» в рамках «линейной модели» к предыдущим этапам (stages) или, наоборот, «забегания вперед», минуя некоторые из следующих этапов (stages). Именно эти обстоятельства формируют другие представления о целесообразной временной последовательности различных этапов изучения, поиска, разведки и разработки объектов, содержащих полезные ископаемые. Исходя из этих идей, целесооб-

разно рассмотреть вопросы соотношения предписывающих правил и процедур, направленных на поиск взаимоприемлемых решений в каждом конкретном случае.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмаилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескопроявлений горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

УДК 665.7

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА ПО ПРИНЦИПУ ИЕРАРХИИ****Протасов
Владимир Николаевич****Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры машин и оборудования
нефтяной и газовой промышленности
protasov1935@rambler.ru**Шкода
Валентин Васильевич****Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени А.К. Серова**
кандидат педагогических наук, доцент,
профессор кафедры физики и электротехники
vshkoda@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены методологические основы системного подхода к планированию качества разнообразных технических систем и их элементов, в частности технических систем для нефтегазодобычи.

Ключевые слова: критерии качества, технические системы, системный подход, принцип иерархии, нормативная документация.

Специфика парка оборудования для добычи нефти и газа заключается в том, что функционирование большинства технологических систем обеспечивается не отдельными видами оборудования, в качестве автономных единиц, а достаточно сложными по структуре техническими системами, состоящими из комплекса разнообразных взаимосвязанных видов оборудования разных производителей.

К таким техническим системам, используемым для нефтегазодобычи, относятся скважинные колонны насосно-компрессорных и обсадных труб, скважинные насосные установки, устьевое оборудование скважин, промысловые трубопроводы, наземная промысловая инфраструктура для первичной подготовки нефти и др.

Основные признаки технической системы:

- состоит из отдельных элементов, т.е. имеет структуру;
- создана для выполнения определенных функций;
- ее элементы связаны друг с другом определенным образом, организованы в пространстве и времени;
- в целом обладает качеством, отличным от простой суммы качеств составляющих ее элементов.

Отдельные элементы технических систем для нефтегазодобычи в большинстве случаев представляют собой комплексы, комплекты, сборочные единицы, детали (неделимые элементы), взаимосвязанные между собой в определенной последовательности, определяющей их соподчиненность и взаимодействие в технической системе. При этом требуемые критерии качества отдельных элементов технической системы обуславливаются критериями качества технической системы в целом по принципу иерархии, определяющим выполнение операций по выбору критериев качества технической системы и ее элементов в определенной последовательности, обуславливаемой их соподчиненностью; при этом выход из предшествующей операции должен являться входом в последующую.

Данный системный подход по принципу иерархии не освоен специалистами нефтегазовых компаний РФ и предприятий нефтегазового сервиса, о чем свидетельствует действующая в нефтегазовых компаниях нормативная документация. Критерии качества элементов технических систем выбирают при отсутствии критериев качества этих систем.

Ярким подтверждением этого является стандартизированная и корпоративная нормативная документация нефтегазовых компаний, определяющая критерии качества стальной трубной продукции для скважинных колонн насосно-компрессорных и обсадных труб, промысловых трубопроводов, при отсутствии нормативной документации, определяющей критерии качества каждой из указанных технических систем.

Скважинные колонны труб, скважинные насосные установки, устьевое скважинное оборудование являются техническими подсистемами в технической системе – скважинное оборудование, критерии качества которой определяют критерии качества указанных технических подсистем по принципу иерархии. При этом стандартизированная или корпоративная нормативная документация, нефтегазовых компаний, определяющая критерии качества данной технической системы не разработана.

Скважинное оборудование, промысловые трубопроводы и наземная промышленная инфраструктура для первичной подготовки нефти являются техническими подсистемами в технической системе для нефтегазодобычи. Нормативная документация, определяющая критерии качества технической системы для нефтегазодобычи, также не разработана. Это определяет недопустимость применения действующей в нефтегазовых компаниях РФ нормативной документации, регламентирующей критерии качества подсистем и элементов, образующих эту техническую систему.

Подобный бессистемный подход с нарушением принципа иерархии к выбору критериев качества отдельных элементов технических систем для нефтегазодобычи при отсутствии определяющих их критериев качества технических систем в целом является основной причиной низкой энергоэффективности и надежности технических систем, значительных затрат на их создание и применение, частых отказов длительных простоев, значительных материальных затрат на ремонт.

Поэтому разработка методологических основ системного подхода по принципу иерархии к выбору критериев качества технических систем и их элементов для нефтегазодобычи является актуальной проблемой для нефтегазовых компаний, базовой основой разработки соответствующих стандартов и корпоративной нормативной документации, успешного импортозамещения, конкурентоспособности отечественной технической продукции для нефтегазодобычи.

Для успешного освоения специалистами нефтегазовых компаний и предприятий нефтегазового сервиса данной методологии необходимо уточнить понятия: «качество технического объекта» (в нашем случае технической системы и ее элементов), «требуемый уровень качества технического объекта», «планирование качества технического объекта» и др.

Качество технического объекта – требуемая потребителю сущность этого объекта, определяемая его назначением и выражаемая требуемыми свойствами объекта, показателями этих свойств в заданных условиях применения и нормами на показатели – критериями качества, определяющими эту сущность и обеспечивающими способность объекта выполнять свое назначение.

Требуемые потребителю свойства технического объекта получили название «потребительские свойства».

Нормы на показатели потребительских свойств технического объекта являются критериями качества этого объекта.

Назначение технического объекта – функции, которые он должен выполнять с требуемыми параметрами в заданных условиях применения в течение регламентированного ресурса или срока службы.

Условия применения технического объекта – где и при каких внешних воздействиях он может использоваться.

При отсутствии назначения технического объекта отсутствует качество этого объекта.

Требуемый потребителю уровень качества технического объекта определяется удовлетворяющими его числовыми или качественными значениями критериев его качества, национальными нормативными документами, устанавливающими ограничения на эти критерии, в частности, на уровень безопасности, и допустимыми для потребителя затратами на приобретение и использование этого объекта.

Планирование качества технического объекта – это процесс выбора требуемых критериев его качества, определяющих способность этого объекта выполнять свои

функции с заданными параметрами в конкретных условиях применения с требуемой энергоэффективностью, надежностью, безопасностью и технологичностью в течение регламентированной наработки с заданной вероятностью при допустимых для потребителя затратах на его приобретение и применение.

Выбор критериев качества технического объекта (технической системы и ее элементов) должен проводиться по принципу иерархии, на основании технико-экономического расчета, с учетом последних научно-технических достижений в данной области.

Согласно предлагаемой методологии системного подхода по принципу иерархии к выбору критериев качества технических объектов выбор норм – критериев качества следует осуществлять в соответствии с алгоритмом, приведенным на рисунке 1.

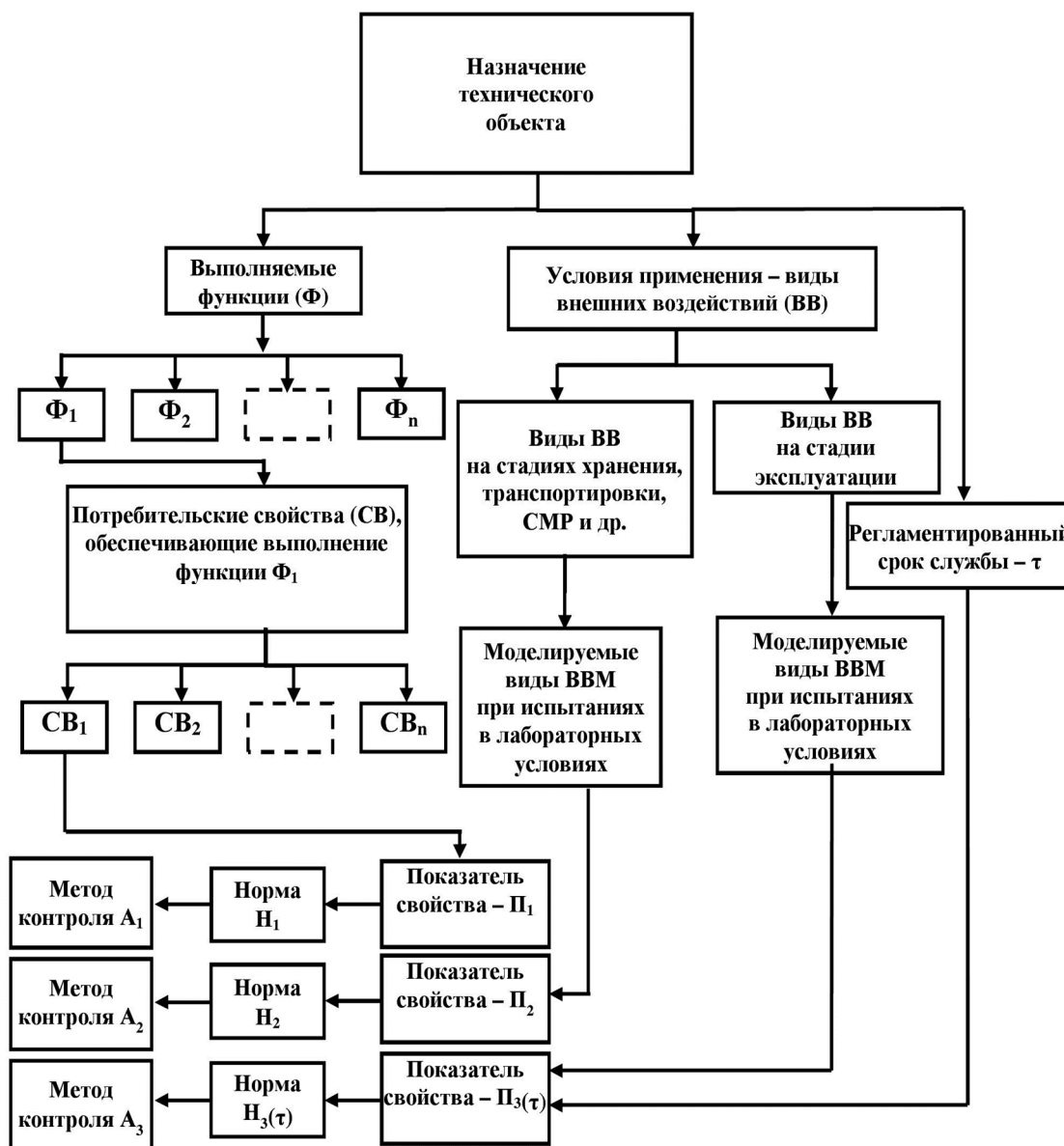


Рисунок 1 – Алгоритм выбора критериев качества технического объекта, определяющих его способность выполнять свое назначение

Если техническим объектом является техническая система для нефтегазодобычи, то согласно принципа иерархии сначала выбирают согласно алгоритма, приведенного на рисунке 1, критерии качества этой системы. Затем в соответствии с выбранными критериями качества технической системы выбирают согласно того же алгоритма и соблюдения принципа иерархии, т.е. соподчиненности и взаимосвязи, критерии качества соединений элементов технической системы, после чего выбирают критерии качества самих элементов и материалов структурных составляющих неделимых элементов (сердцевины и поверхностного слоя).

Заключительной операцией планирования качества технического объекта является разработка технических требований к нему.

Технические требования должны содержать:

- назначение технического объекта (технической системы в целом, ее элементов, соединений элементов в порядке их соподчиненности по принципу иерархии;
- потребительские свойства технического объекта, обеспечивающие выполнение требуемых функций, показатели потребительских свойств в исходном состоянии и при внешних воздействиях на разных стадиях его жизненного цикла у потребителя (хранение, транспортировка, монтаж, эксплуатация, ремонт), нормы на показатели – критерии качества.
- методики испытаний технического объекта, т.е. контроля соответствия его фактических характеристик регламентированным в технических требованиях критериям качества в исходном состоянии и в условиях, моделирующих внешние воздействия на него на разных стадиях жизненного цикла у потребителя (хранение, транспортировка, монтаж, эксплуатация, ремонт).

Качеством технических объектов не управляют. Его планируют, устанавливая требуемые потребителю критерии качества – нормы на показатели требуемых потребительских свойств технического объекта.

В соответствии с требуемыми критериями качества технического объекта планируют критерии качества его проектирования, изготовления, монтажа, эксплуатации и ремонта, что определяет необходимость установления взаимосвязи между ними по принципу иерархии.

Для обеспечения соответствия характеристик каждого из этих процессов требуемым критериям его качества управляют этими процессами. Управление процессом сводится к управлению его режимами, условиями протекания этого процесса, действующими факторами.

На рисунке 2 представлена схема последовательности выбора по принципу иерархии критериев качества технологического процесса, для выполнения которого предназначена техническая система, критериев качества самой технической системы, ее элементов, соединений элементов, критериев качества проектирования этой системы, изготовления ее отдельных элементов, монтажа и эксплуатации технической системы на примере колонны насосно-компрессорных труб в добывающих скважинах на нефтяных месторождениях.

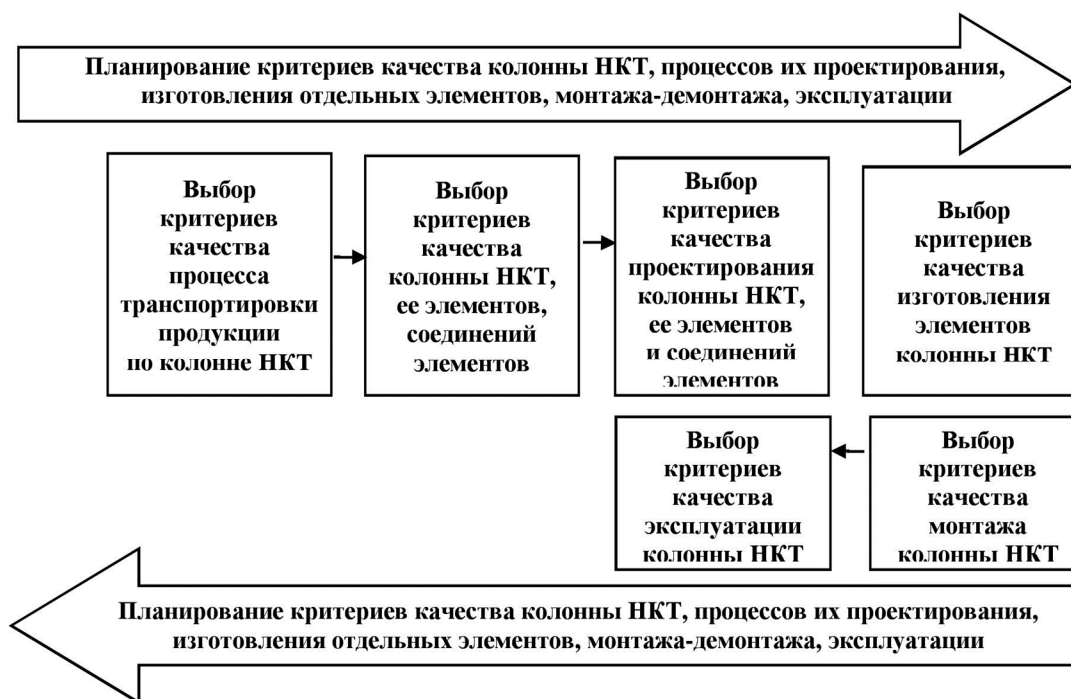


Рисунок 2 – Последовательность выбора критериев качества процесса транспортировки продукции скважины по колонне НКТ, колонны НКТ, ее проектирования, изготовления отдельных элементов, монтажа, эксплуатации

Регламентированные различными национальными стандартами механизмы и методы обеспечения качества проектирования технических систем для нефтегазодобычи, производства их отдельных элементов, монтажа, эксплуатации и ремонта обеспечивают эффективное управление этими процессами только при их взаимосвязи с критериями качества этих процессов. Однако эта связь отсутствует в действующей нормативной документации.

Качество технических объектов не повышают. Качество технических объектов планируют и обеспечивают. Если критерии качества технического объекта не соответствуют требованиям потребителя или потребитель изменил свои требования, то критерии качества корректируют.

Технические системы для нефтегазодобычи используют в разных условиях эксплуатации. При этом даже у каждого потребителя условия эксплуатации могут изменяться в достаточно широких пределах.

Потребитель стремится создать техническую систему для своих конкретных условий ее использования. Однако производители элементов технической системы не могут удовлетворить желание каждого потребителя, т.к. это экономически нецелесообразно. Поэтому в большинстве случаев потребители заказывают элементы технической системы для самых жестких условий эксплуатации. Это обуславливает неоправданную высокую стоимость этих элементов, хотя эти жесткие условия могут составлять не более 3 % от общего диапазона разнообразных условий эксплуатации.

Внешние воздействия на элементы технических систем для нефтегазодобычи следует систематизировать:

- по видам воздействий (тепловые, силовые, фрикционные, физико-химические) и их сочетаниям на разных стадиях жизненного цикла у потребителя (хранение, транспортировка, монтаж, эксплуатация, технологические операции);
- по интенсивности каждого вида воздействия, определяемой его количественной или качественной характеристикой.
- диапазону изменения числовых или качественных значений этих характеристик.

Необходимо разбить предельно возможный диапазон изменения количественной или качественной характеристики каждого вида внешнего воздействия на техническую систему на нефтегазовых месторождениях РФ на следующие нормативные диапазоны: нормальный, повышенный, усиленный, жесткий. Каждый нормативный диапазон интенсивности конкретного вида внешнего воздействия следует выбирать из условия, что в этом диапазоне будет эксплуатироваться значительное количество конкретных элементов рассматриваемой технической системы. Это определяет экономическую целесообразность промышленного производства элементов технической системы, обладающих требуемым уровнем качества при эксплуатации в конкретном нормативном диапазоне при минимальных затратах на их производство и применение.

Освоение специалистами нефтегазовых компаний и обслуживающих их предприятий нефтегазового сервиса предлагаемого системного подхода по принципу иерархии к планированию качества технических систем и их элементов для добычи нефти и газа, позволит им разработать нормативную документацию, определяющую способность различных технических систем, их элементов, соединений элементов выполнять свое назначение при регламентированном уровне их энергоэффективности, надежности, безопасности, технологичности и при минимально возможных затратах на их изготовление и применение в заданных условиях эксплуатации. Этому будет способствовать создание автоматизированной системы управления (АСУ) планированием качества технических систем для добычи нефти и газа.

Список литературы:

1. Протасов В.Н., Кершенбаум В.Я., Штырев О.О. Планирование и обеспечение качества технических систем нефтегазового комплекса. Научное издание. – М. : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2020. – С. 444.

УДК 622.654.21

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
ВИБРОВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ**

Рагимова М.С.	Научно-исследовательский институт «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия», Азербайджан rahimova_mahluqa@mail.ru
Сулейманов Ш.М.	Научно-исследовательский институт «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия», Азербайджан
Намазова Г.И.	Научно-исследовательский институт «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия», Азербайджан
Рзаева Х.Дж.	Научно-исследовательский институт «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия», Азербайджан

Аннотация. Промышленное испытание экспериментального опыта изучения процесса вибродействия на ПЗП-а эксплуатационных нефтяных и нагнетательных водяных скважин переменным давлением с целью интенсификации притока и поглощения жидкости показывает, что успешность применения метода в каждом конкретном случае зависит от индивидуальных свойств пластовой системы и связанных с ними специфических элементов механизма проявления колебаний давления на забое скважины.

Поэтому перспективным направлением повышения эффективности вибрационного воздействия на ПЗП-а является оптимальное сочетание гидродинамических параметров пластовой системы, технических и технологических параметров процесса виброобработки скважин.

Ключевые слова: давление, вибровоздействие на пласт, стационарные и нестационарные исследования, пластовое давление, коэффициент проницаемости.

При разработке нефтяных месторождений путем стационарных и нестационарных гидродинамических исследований эксплуатационных нефтяных и нагнетательных водяных скважин определяются следующие параметры продуктивного пласта: значение пластового давления, коэффициент проницаемости, коэффициент гидропроводности, коэффициент пьезопроводности, приведенный радиус гидродинамически несовершенной скважины.

Поэтому перспективным направлением повышения эффективности вибрационного воздействия на ПЗП-а является оптимальное сочетание гидродинамических параметров пластовой системы, технических и технологических параметров процесса виброобработки скважин.

Задача разработки оптимальной технологии процесса вибрационного воздействия заключается в следующем: выбор типа конструкции генератора, т.е. создателя колебаний (вибратора); выбор конструктивных параметров самого вибратора и выбор значений параметров технологического режима процесса вибродействия в соответствии со значениями гидродинамических параметров призабойной зоны продуктивного нефтяного пласта.

Известно, что в линейных системах незатухающие типы колебательного движения могут поддерживаться только периодическими внешними воздействиями. Но в механических системах такие колебательные движения могут поддерживаться также источниками энергии, которые не обладают колебательными свойствами. Здесь, для поддержания устойчивых колебательных движений, рассматриваемая система во время этого движения должна получить из источника столько энергии, сколько расходует-

ся у неё за то же время. Такого типа система называется автоколебательной, то есть самовозбуждающейся. Это значит, что автоколебательной системой называется такая колебательная система, которая совершает незатухающие колебания из-за действия источника энергии, и не обладающего свойствами колебательных движений.

Следующие составные части характерны для автоколебательной системы:

- источник внешней энергии, который компенсирует потери энергии на затухание колебательных движений из-за трения или других сил сопротивления;
- сама колебательная система;
- клапан, который регулирует вхождение внешней энергии в колебательную систему;
- обратная связь, то есть устройство обратного воздействия автоколебательной системы на клапан из-за протекания в самой колебательной системе. Такая обратная связь регулируется изменением значения расхода внешней энергии.

В такой системе обратная связь является положительной, когда со временем воздействия источника внешней энергии на колебательную систему, источник внешней энергии совершает над системой положительную работу и дает ей определенный запас внешней энергии.

Положительная обратная связь необходима и используется, чтобы возбуждать автоколебания. Если обратная связь отрицательна, то затухание усиливается и автоколебания подавляются.

Необходимо сказать, что работа забойных вибраторов, то есть генераторов колебаний, которые применяются в нефтедобывающей промышленности на призабойную зону пласта по добывающим нефтяным скважинам для увеличения нефтеотдачи продуктивных пластов основывается на принципе автоколебательной системы.

Нефтепромысловые исследования последствий опытно-промышленного испытания забойных вибраторов свидетельствуют о том, что успешность технологических операций во многом зависит от правильного выбора их режима работы для конкретных геолого-физических условий, которые заключаются в установлении основных конструктивных и волновых показателей этих вибраторов в соответствии с гидродинамическими показателями обрабатываемых эксплуатационных объектов.

Теоретическое исследование автоколебательного режима работы забойных вибраторов имеет следующую цель: разработка методики выбора конструктивных показателей вибратора и технологических параметров процесса вибровоздействия на ПЗП в зависимости от значений гидродинамических параметров пластов и тем самым разработка эффективной технологии используемого метода. Это дает возможность выполнять виброобработку скважин в режиме оптимальных волновых (частота, амплитуда колебаний) и технологических (давление, расход рабочей жидкости) показателей на весь период продолжительности и процесса вибровоздействия.

Из обзора забойных вибраторов, которые издают импульсное истечение рабочей жидкости видно, что для вибровоздействия на ПЗП-а необходимо отдать предпочтение забойным вибраторам, работающим в автоколебательном режиме.

По конструктивному исполнению работа запорного органа данного скважинного забойного вибратора бывает более надежной, так как рабочие поверхности элементов узла не подвергаются механическому разрушению и абразивному износу. Кроме этого, вибратор конструктивно способен обеспечить как радиальную для воздействия на ПЗП-а, так и осевую направленность для промывки песчаной пробки импульсной струей рабочей жидкости. Осевая направленность импульсной струи увеличивает эффективность промывки песчаной пробки, дает возможность при этом уменьшить количество дополнительных работ по спуску и подъему промывочных труб.

В качестве уравнения движения клапана забойного вибратора рассматривалось линейное дифференциальное уравнение в следующем виде:

$$\ddot{X} - A_1 X - B_1 p = 0,$$

В это уравнение не входит сила сопротивления (затухание).

Получение же приемлемого для практических расчетов выражения, характеризующего амплитуду колебательных движений, требует введения в исходное дифференциальное уравнение силы сопротивления. Эта сила должна характеризоваться нелинейным членом.

С целью теоретического исследования автоколебательного режима функционирования генератора колебаний составлено и решено специальное дифференциальное уравнение. Получились алгоритмы для вычисления параметров конструкции вибратора и технологических параметров процесса вибровоздействия в зависимости от параметров обрабатываемых участков пласта.

Составлено и решено дифференциальное уравнения колебания колонны насосно-компрессорных лифтовых труб и получены алгоритмы для определения динамического напряжения в колонне труб при работе забойного генератора колебания в скважине.

Список литературы:

1. Кучумов Р.Я., Шагиев Г.О. влиянии виброударных волн на структуру порового пространства насыщенных поровых сред // Труды УНИ. – 1975. – № 30. – С. 102–104.
2. Исследование гидравлических золотниковых вибраторов для обработки скважин / С.М. Гадиев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 1972. – № 2. – С. 23–32.
3. Влияние акустического воздействия на водопроницаемость и коэффициент вытеснения терригенных коллекторов / В.П. Митрофанов [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 1996. – № 10. – С. 45–52.
4. Валиуллин А.В. Совершенствование вибровоздействия на призабойную зону скважин для повышения приемистости нагнетательных скважин : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 1984. – С. 20.

УДК 622.276.7 (075.8)

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЙ НА ЭТАПАХ ЗАКАНЧИВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Растегаев Борис Александрович	ООО «НПФ «Нитпо»
Строганов Вячеслав Михайлович	ООО «НПФ «Нитпо»
Строганов Михаил Александрович	ООО «НПФ «Нитпо»
Усов Сергей Васильевич	Кубанский государственный технологический университет
Иванов Дмитрий Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Рассмотрены наиболее часто используемые методы предупреждения пескопроявлений в нефтяных скважинах в отечественной практике. Сформулированы требования для разработки эффективного и экономичного метода. Разработаны технология и состав для крепления слабосцементированных зон призабойной зоны пласта.

Ключевые слова: пескопроявление, призабойная зона пласта, песчаные пробки, забой скважины, устье скважины, горные породы, фуриловый спирт, реакция полимеризации, полисилоксаны, этоксисилоксаны, керн породы.

Пескопроявление происходит в результате разрушения слабосцементированных песчаных пород в призабойной зоне пласта (ПЗП). Оно сопровождается выносом песка на забой и устье скважины. Накопление на забое песчаной пробки приводит к снижению продуктивности скважины. При поступлении песка с продукцией скважины на поверхность происходит эрозионный износ оборудования и трубопроводов, что повышает риск возникновения аварийных ситуаций. Рассматриваемая проблема разработки слабосцементированных пластов характерна как на начальной стадии так в процессе последующей эксплуатации скважины. Поэтому эффективность разработки таких залежей во многом будет зависеть не только от устойчивости коллектора к нагрузкам, но и от технологических решений, заложенных при проектировании скважины.

В отечественной и мировой практике накоплен значительный опыт, посвященный проблеме разрушения ПЗП [1]. Однако, прогнозирование пескопроявления, а также его предупреждение на заключительной стадии строительства скважины по-прежнему является актуальным и в наши дни.

Анализ работы скважины показывает, что разрушение горных пород в ПЗП происходит при нарушении критерия устойчивости, который зависит от упруго-прочностных свойств горных пород и их напряженно деформированного состояния. По опыту проведенных исследований прослеживается связь между упруго-прочностными и фильтрационно-емкостными свойствами, составом и условиями залегания продуктивного пласта. Так же установлено, чем выше пористость, тем ниже прочностные свойства пород.

На стадиях заканчивания и эксплуатации скважины можно выделить два типа наиболее эффективных методов предупреждения пескопроявлений: механический и химический.

К механическому методу относится метод установки забойных фильтров различных конструкций (щелевых, дырчатых, проволочных и т.д.) а так же применение гравийных фильтров.

К химическим методам следует отнести, например, применение состава Контарена-2,4 на основе сланцевых смол [2], представляющего собой композицию, включающую сланцевые алкил резорцины (состав ТС-10), уротропин и наполнитель. При температуре выше 35 °С состав полимеризуется и образует полимер с достаточной прочностью. Наполнитель ШРС-С состоит из растворимого (поваренная соль) и нерастворимого (шлак доменный) компонентов. В последующем растворимый компонент (поваренная соль) из полимера вымывается водой и получается пористая оболочка в заколонном пространстве, через который может фильтроваться нефть из продуктивного пласта. Таким образом, пористый полимерный экран формируется в заколонном пространстве и служит фильтром для предотвращения пескопроявлений.

Основными недостатками данной технологии являются сложность технологии приготовления раствора и необходимость специального оборудования.

Во ВНИИКРнефти был разработан состав [3] для крепления ПЗП, на основе кубовых остатков ректификации фурфуролового спирта (КОФС), полимеризующийся в присутствии кислот. Этот состав обладал высокой проникающей способностью. Принцип его действия заключался в консолидации (укреплении) слабосцементированных песчаников продуктивного пласта. Технология достаточно успешно использовалась в различных условиях, например, в Уренгое и Астрахани. Однако, в связи с тем, что в РФ практически полностью было прекращено производство фурфурола и его производных, данная технология перестала применяться.

Для ограничения водопритоков и крепления песка в ПЗП эффективно используются кремнийорганические смолы [4, 5]. Исследования показали, что полисилоксаны и этоксисилоксаны, обладают высокой адсорбцией на породе и способны десорбироваться без разрушения. Поэтому после закачки они адсорбируются на породе, гидрофобизируют поверхность порового пространства.

На основании анализа применяемых в отрасли методов были разработаны требования к консолидирующему полимерному составу для укрепления и повышения прочности слабосцементированных песчаников:

- 1) достаточно низкая вязкость для глубокого проникновения в пористую среду пласта, в том числе в поры с низкой проницаемостью, а также для вытеснения указанного состава при последующем продавливании из порового пространства;
- 2) наличие высокого смачивания и адгезии полимерного состава к поверхности порового пространства продуктивных пластов;
- 3) хорошая совместимость – смешение с жидкостью отверждения;
- 4) возможность в процессе полимеризации (при контакте с отвердителем) уменьшение образующегося полимера в объеме;
- 5) экзотермический характер реакции полимеризации, т.е. повышение температуры при смешении с отвердителем в целях сокращения сроков отверждения и снижения зависимости от температуры в скважине;
- 6) отсутствие полимеризации основного состава в температурном режиме скважины до смешения с отвердителем;
- 7) простота технологии крепления слабосцементированных пород в ПЗП без использования специальной техники и значительных временных затрат.

Согласно перечисленным требованиям была разработана технология крепления песка отверждаемыми смолами фуранового (состав *на основе* фурановых олигомеров – СОФ-1). Технология основана на повышенной адгезии фурановых соединений к песчано-глинистым минералам. В то же время, за счёт достаточно низкой вязкости композиции она частично вытесняется из порового пространства коллекторов, сохраняя после отверждения их проницаемость. Прокачиваемая вслед за фурановой композицией кислота обеспечивает достаточно быстрый катализ смолы, поскольку реакция экзотермична и соответственно процесс мало зависит от пластовой температуры. Смола в зоне контакта частичек песка отверждается и тем самым скрепляя их при одновременном уменьшении объема полимера.

Схема консолидированной смолой порода приведена на рисунке 1.

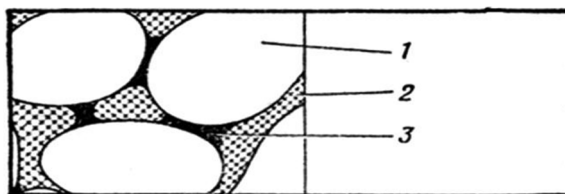


Рисунок 1 – Схема слабосцементированного песчаного пласта: 1 – частицы песка; 2 – пластовый флюид; 3 – консолидирующий полимер

Оценку эффективности закрепления песчаника составом СОФ-1 проводили на модернизированной установке УИПК (Установке исследования проницаемости кернов).

Для этого в специальном цилиндре-кернодержателе установки был сформирован образец керна из мелкодисперсного песка. Через керн была прокачана углеводородная жидкость (керосин) и определена исходная проницаемость керна. Затем в керн был закачан состав СОФ-1, следом за ним через керн была прокачана продавочная жидкость (керосин) и затем закачана соляная кислота (13 %-ной концентрации). После реагирования компонентов (30 мин) через керн был вновь прокачан керосин и замерена его проницаемость.

Результаты исследований отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования крепления песка полимерным составом.

№ п/п	Состав СОФ-1, кратность поровому объёму керна	Соляная кислота, кратность поровому объёму керна	Время ожидания, час		$K_{исх.1}$ МКМ ²	$K_{кон.2}$ МКМ ²	Прочность при сжатии, МПа (T = 60 °C)
			20 °C	60 °C			
1	1	0,5	6,0	16	0,430	0,307	2,2
2	1	1	5,5	16	0,411	0,376	3,7
3	2	1	4,0	16	0,470	0,314	4,2
4	3	3	3,0	16	0,425	0,300	7,0
5	3	3	3,0	16	0,411	0,290	9,8

Из таблицы видно, что образец песка имитирующий породу приобрел прочность и сохранил проницаемость. При увеличении объема прокачки кислоты возрастает прочность консолидированного образца. Проницаемость консолидированного образца составляет не менее 70 % от исходной.

Объем закачки крепящего состава СОФ-1 в скважину может быть рассчитан по следующей формуле:

$$V = \pi r^2 h m,$$

где r – радиус формируемого экрана в ПЗП; h – толщина консолидируемого пласта; m – пористость породы.

Расчет объема закачиваемого состава следует проводить после анализа профиля притока и приемистости пласта. Возможное снижение проницаемости консолидированной части продуктивного пласта будет способствовать выравниванию профиля притока нефти из пласта и повышению дебита за счет вовлечения более низко проницаемой части пласта.

В результате проведенного анализа известных методов ограничения пескопроявлений, формулирования требований к ним разработаны технология и крепящий состав СОФ-1 для консолидации слабосцементированного песчаника с сохранением его проницаемости в среднем до 70 %. Технология и состав могут быть рекомендованы для применения при заканчивании скважины перед запуском её в эксплуатацию.

Список литературы:

1. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Анализ современных методов и технологий управления процессами пескопроявлений при эксплуатации скважин // Горное дело. – 2008. – С. 132–134.
2. Пат. РФ № 1694857. Дадыка В.И., Изюмова Н.А., Бекаев Р.Б., Минина Т.Б., Шейкин С.М. Состав для крепления ПЗП. 30.11.1991.
3. Пат. РФ № 1694857. Дадыка В.И., Изюмова Н.А., Бекаев Р.Б., Минина Т.Б., Шейкин С.М. Состав для крепления ПЗП. 30.11.1991.
4. Пат. РФ № 446270. Волков В.А., Беликова В.Г., Калинин Е.С. Способ изоляции притока пластовых вод в скважине и крепления призабойной зоне пласта. 05.08.2010.
5. Земцов Ю.В. Развитие и совершенствование ремонтно-изоляционных работ на месторождениях Западной Сибири. – СПб. : Недра, 2014. – 319 с.

УДК 622.27

**ОСОБЕННОСТИ РАЗГРУЗКИ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ
ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА****Рогов
Евгений Анатольевич****ООО «Научно-исследовательский институт природных
газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»**
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
rogov.rea@yandex.ru

Аннотация. В статье представлена технология, позволяющая использовать избыточную пластовую энергию объекта эксплуатации при эжектировании газа техногенных залежей подземного хранилища газа.

Ключевые слова: техногенная залежь, подземное хранилище газа, пластовая энергия, эжекционная технология.

Обеспечение герметичности подземного хранилища газа (ПХГ) является важной составляющей работ по его созданию и эксплуатации. Одной из негативных особенностей эксплуатации ПХГ является наличие перетока газа в вышележащие горизонты, в результате чего образуются техногенные залежи газа. Для предотвращения распространения газа и предупреждения поверхностных газопроявлений необходимо осуществлять разгрузку техногенных залежей [1–3].

Пути перетока и места скопления мигрирующего газа на рассматриваемом ПХГ выглядит следующим образом. Объектом хранения является гдовский пласт-коллектор, который имеет газодинамическую связь с кристаллической брекчией через тектоническое нарушение. Кристаллическая брекчия имеет литологическое «окно» и в этом месте осуществляется непосредственный её контакт с вышележащим воробьевским горизонтом. Воробьевский горизонт перекрыт глинистой крышкой, она хорошо выдержана по мощности и не имеет нарушений. Благодаря этому газ, перетекающий из объекта хранения через литологическое нарушение и насыщая брекчию через литологическое окно, попадает в воробьевский горизонт, где, скапливаясь, образует вторичную залежь газа. Выше воробьевского горизонта находится ряд контрольных горизонтов, в т.ч. семилукский горизонт, поступление газа в который связано с техническим состоянием скважин. Для оценки реализации эжекционной технологии при разгрузке техногенных залежей проводились расчеты на основе математического моделирования течения реального газа в эжекторе. Параметры работы эжектора определялись на основе анализа технологического режима работы скважин. Также определялись методы интенсификации отбора газа из техногенных залежей, подлежащих разгрузке за счет применения эжекционной технологии [4–10].

На ПХГ разгрузка техногенного газа осуществляется в промышленных масштабах из воробьевского горизонта и с незначительным расходом из семилукского горизонта.

Разгрузка воробьевского горизонта осуществляется через скважины № № 24, 44, 95, 155 и 156. Устьевые давления этих скважин позволяют им участвовать в разгрузке на протяжении всего разгрузочного периода. Скважина № 113 находится в купольной зоне воробьевского горизонта, тем не менее, участие этой скважины в разгрузке проблематично из-за низкого устьевого давления (1,2–2,8 МПа). На расстоянии нескольких метров расположена скважина № 38, пробуренная на гдовский пласт-коллектор. Устьевое давление скважины № 38 в период отбора изменяется от 10,5 МПа до 3,9 МПа, дебит изменяется в пределах от 400 тыс. м³/сутки до 250 тыс. м³/сутки, соответственно. Приобщение скважины № 113 к разгрузке техногенной залежи воробьевского горизонта возможно путем подключения эжектора между скважинами № 38 и № 113.

Разгрузка техногенной залежи семилукского горизонта осуществляется путем стравливания газа через свечи наблюдательной скважины № 130. Скважина не оборудована индивидуальным шлейфом и находится в составе куста наблюдательных скважин на воробьевский, евлано-ливенский, упинский и задано-ливенский горизонты. Расстояние между скважинами 5–10 м. Одна из скважин (№ 24) оборудована индивидуальным шлейфом и участвует в разгрузке воробьевского горизонта. Приобщение сква-

жины № 130 к разгрузке техногенной залежи семилукского горизонта возможно путем подключения эжектора между скважинами № 24 и № 130.

Разгрузка семилукского горизонта. Эжекторная установка подключается между скважинами № 24 и № 130. Поток газа скважины № 24 используется в качестве высоконапорного. Поток газа скважины № 130 подается на эжекторную установку в качестве низконапорного. Устьевое давление скважины № 24 составляет 5,2–5,8 МПа, дебит скважины – 100 тыс. м³/сутки. Устьевое избыточное давление скважины № 130 не превышает 0,03 МПа. Давление на выходе эжекторной установки необходимо обеспечить на уровне 3,8–4,0 МПа. Утилизация техногенного газа семилукского горизонта возможна путем двухступенчатого эжектирования. Газ из высоконапорной магистрали разделяется на два потока и подается на высоконапорные входы эжекторов обеих ступеней. На низконапорный вход эжектора первой ступени подается газ из низконапорной скважины. Смешанный эжектором первой ступени газ подается на низконапорный вход эжектора второй ступени. Смешанный эжектором второй ступени газ направляется в шлейф скважины № 24.

Разгрузка воробьевского горизонта. Эжекторная установка подключается к скважинам № 38 и № 113. Поток газа от скважины № 38 подается на эжектор в качестве высоконапорного с давлением 7,5–10,5 МПа, дебит скважины – 250 тыс.м³/сутки. Поток газа скважины № 113 подается на эжектор в качестве низконапорного с давлением 1,2–2,9 МПа. Смесь газа после эжектора поддерживается на уровне 3,8–4,0 МПа. Для обеспечения таких параметров работы достаточно одноступенчатого эжектирования.

Вывод. Таким образом, использование избыточной пластовой энергии гдовского пласта-коллектора при эжектировании газа техногенных залежей воробьевского и семилукского горизонтов позволит осуществить отбор газа из ПХГ в среднем 5,5 млн м³ в течении 145 суток отбора.

Список литературы:

1. Рогов Е.А. Оценка потерь газа при эксплуатации скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2019. – № 10. – С. 50–53.
2. Рогов Е.А. Оценка герметичности скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 3. – С. 27–30.
3. Рогов Е.А. Метод оценки герметичности скважин на подземных хранилищах газа // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2. – Ч. 2. – С. 103–108.
4. Опыт эксплуатации и перспективы развития Калужского подземного хранилища газа / О.М. Карабельников [и др.] // Газовая промышленность, сер. Транспорт и подземное хранение газа. – М. : ИРЦ Газпром, 1998. – 77 с.
5. Особенности построения геологической модели объекта / Е.А. Рогов [и др.] // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 434–436.
6. Патент РФ на изобретение № 2655090. Способ определения потерь газа при эксплуатации подземных хранилищ газа / Рогов Е.А., Солдаткин С.Г. Оpubл. 23.05.2018. Заявка № 2017117748 от 22.05.2017.
7. Контарев А.А., Рогов Е.А. Оценка факторов, влияющих на влагосодержание добываемого газа // В сборнике: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах. – М., 2021. – С. 154–158.
8. Патент РФ на полезную модель № 96962. Установка для проведения исследований / Рогов Е.А. Оpubл. 20.08.2010. Заявка № 2010111972/22 от 29.03.2010.
9. Патент РФ на изобретение № 2526434. Способ определения герметичности подземных хранилищ газа / Солдаткин С.Г., Рогов Е.А., Бебешко И.Г. Оpubл. 20.08.2014. Заявка № 2013118622/03 от 23.04.2013.
10. Патент РФ на изобретение № 2540716. Способ определения герметичности подземных хранилищ газа с водонапорным режимом эксплуатации / Солдаткин С.Г., Рогов Е.А., Бебешко И.Г. Оpubл. 10.02.2015. Заявка № 2013141655/03 от 10.09.2013.

УДК 622.276.6

**АНАЛИЗ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ (МУН)****Салами
Юсуфф Олатунджи****Кубанский государственный технологический университет**
vondahuseful@gmail.com**Аль-Идриси
Мохаммед Салех****Кубанский государственный технологический университет**
ассистент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
mohammed734488@mail.ru

Аннотация. Нефть и газ остаются первичными источниками энергии в мире. Между тем, большие объемы нефтяных запасов остаются неизлеченными после применения традиционных методов добычи нефти. Химические методы увеличения нефтеотдачи (МУН) были признаны эффективными методами добычи нефти для извлечения остаточной нефти, оставшейся в пласте. Этот метод увеличения нефтеотдачи основан на закачке химических реагентов для повышения нефтеотдачи. В следствии применения химических МУН возникают некоторые ограничения и для того, чтобы избежать эти ограничения и извлечь больше нефти необходимо применять комбинации отдельных химических МУН. В данном обзоре рассмотрены современные синопсисы совместного применения химических МУН, с подробным объяснением механизмов их применения для извлечения нефти. А также рассмотрены недостатки и ограничения применения технологии АСП заводнения.

Ключевые слова: нефтеотдачи, заводнение, синергия, поверхностно-активного вещества, щелочь, эмульсия, межфазное натяжение, оторочки, закачка, эмульсия, вязкости, полимеры.

Введение
Не так давно была разработана комбинация химических реагентов, которая была испытана в экспериментальных и полевых условиях для дальнейшего повышения нефтеотдачи. Этот метод МУН был разработан из-за необходимости использовать синергию отдельных химических веществ и с целью их дополнения друг друга во время процесса заводнения.

Совместное применение химических МУН включает в себя АС-заводнение, АП-заводнение, СП-заводнение и АСП-заводнение.

АС-заводнение (ПАВ-щелочное заводнение)

При АС-заводнении сначала закачивается порция щелочного раствора, а затем порция ПАВ. Эффективность процесса выше, чем при индивидуальном заводнении щелочью или ПАВ. Щелочь реагирует с нефтяными компонентами сырой нефти с образованием мыла на месте.

Добавление поверхностно-активного вещества к щелочному раствору дополнительно снижает межфазное натяжение и создает эмульсии с более высоким межфазным сопротивлением. Кроме того, присутствие щелочи уменьшает адсорбцию дорогостоящих химических поверхностно-активных веществ глинистыми минералами (такими как монтмориллонит, каолинит и иллит) в порах породы, поскольку заряды поверхности минералов становятся более отрицательными. Более низкая адсорбция ПАВ увеличивает количество ПАВ, доступного в пласте, для извлечения остаточной и капиллярно захваченной нефти в порах породы, следовательно, более высокая нефтеотдача.

АП-заводнение (Щелочно-полимерное заводнение)

Недостатком щелочного заводнения является отсутствие необходимого контроля подвижности, необходимого для проталкивания нефти в пласт из-за более низкой подвижности вытесняющей фазы к вытесняемой фазе [1]. Одновременная закачка полимерной порции со щелочью улучшает контроль подвижности закачиваемой жидкости и дополняет эффективность заводнения щелочью. Кроме того, присутствие щелочи снижает адсорбцию полимера порами породы.

Однако необходимо определить оптимальную концентрацию щелочи и полимера, необходимую для приготовления оторочки АП. Это связано с тем, что присутствие высокой концентрации щелочи может вызвать гидролиз молекул полимера и ухудшить его вязкость. Юнг и др. сообщили о 30-процентном дополнительном извлечении тяжелой нефти за счет АП заводнения [2].

СП-заводнение (ПАВ-полимерное заводнение)

В зависимости от конечной цели процесса заводнения любое химическое вещество может быть введено в качестве первой порции при СП-заводнении [3]. Если целью процесса заводнения является снижение адсорбции, сначала вводят полимерные оторочки в качестве расходоуемого агента и для контроля соответствия. И наоборот, порция полимера вводится за порцией ПАВ, когда цель процесса заводнения состоит в том, чтобы избежать проникновения промывочной жидкости в порцию ПАВ.

Какой бы режим закачки ни был выбран, существует сильная тенденция к высокой эффективности смеси обоих химикатов на их границе за счет диффузии и диспергирования в коллекторе. Кроме того, явление недоступности порового объема может способствовать смешиванию химикатов, когда полимерный раствор вводится за поверхностно-активным веществом. Синергизм обоих химических веществ приводит к более высокой нефтеотдаче.

АСП-заводнение (совместное применение щелочи, ПАВ и полимера)

Технология заводнения АСП включает закачку растворов щелочи, ПАВ и полимеров для достижения повышения нефтеотдачи. Благодаря интегрированному синергетическому эффекту отдельных компонентов нагнетаемой оторочки этот метод считается наиболее эффективным химическим процессом повышения нефтеотдачи. Комбинированные химикаты улучшают как масштаб пор, так и эффективность объемного охвата. АСП заводнение было предложено в 1984 г., но обращаться к технологии АСП заводнения стали только в последние годы. Закачка раствора АСП позволяет а) улучшить вытесняющую способность закачиваемой жидкости, и б) мобилизовать оставшуюся после заводнения нефть благодаря уменьшению поверхностного натяжения между нефтью и водой. Синергетический эффект таких физико-химических процессов позволяет удвоить объемы дополнительной добычи нефти по сравнению с полимерным заводнением. Широкому распространению технологии препятствует относительная технологическая сложность реализации заводнения АСП и высокая стоимость специализированных ПАВ.

Механизм вытеснения нефти заводнением АСП

Технология АСП заводнения была разработана в начале 80-х в научно-исследовательском центре Беллейр (Bellaire Research Center) компанией Шелл в Хьюстоне. Механизм вытеснения нефти из пластов с помощью технологии АСП заводнения является комбинацией отдельных процессов полимерного, щелочного и ПАВ заводнения. Анионный ПАВ снижает поверхностное натяжение между нефтью и водой, что позволяет вытеснить остаточную нефть. Сода выполняет сразу две функций.

Первичная функция – уменьшить адсорбцию (потерю) дорогостоящего ПАВ в пласте. После закачки раствора в пласт, сода взаимодействует с породой увеличивая ее отрицательный электрический заряд приводя к уменьшению адсорбции ПАВ.

Вторая функция соды – щелочной гидролиз кислых компонентов нефти, в результате которого происходит образование дополнительных поверхностно-активных веществ в коллекторе.

Полимер добавляют в воду для увеличения вязкости раствора, что приводит к улучшению процесса вытеснения мобилизованным ПАВ-ом нефти за счет уменьшения соотношения подвижности вытесняющего агента и нефти и следовательно увеличения коэффициента охвата пласта.

Типичный процесс АСП заводнения включает в себя несколько этапов (см. рис. 1):

- Предварительное заводнение – Закачка воды определенной солености для изменения солености воды коллектора с целью уменьшения потерь ПАВ при последующей закачке полимерного раствора АСП и/или уменьшения риска солеотложения при взаимодействии пластовой воды с раствором АСП.

- Закачка полимерного раствора АСП – Максимальный объем полимерного раствора, используемого в коммерческих проектах, составляет около 30 % порового объема коллектора. Полимерный раствор АСП представляет собой комбинацию щелочи и ПАВ, которая уменьшает поверхностное натяжение и изменяет смачиваемость породы. Совместное воздействие ПАВ и щелочи аккумулирует нефть, захваченную в пласте после заводнения. После закачки в пласт раствор АСП начинает мобилизовать остаточную нефть, которая формирует нефтяной вал.

- Закачка пресной воды (допускается из системы ППД) для поддержки пластового давления при дальнейшем вытеснении растворов АСП и полимера к добывающим скважинам.

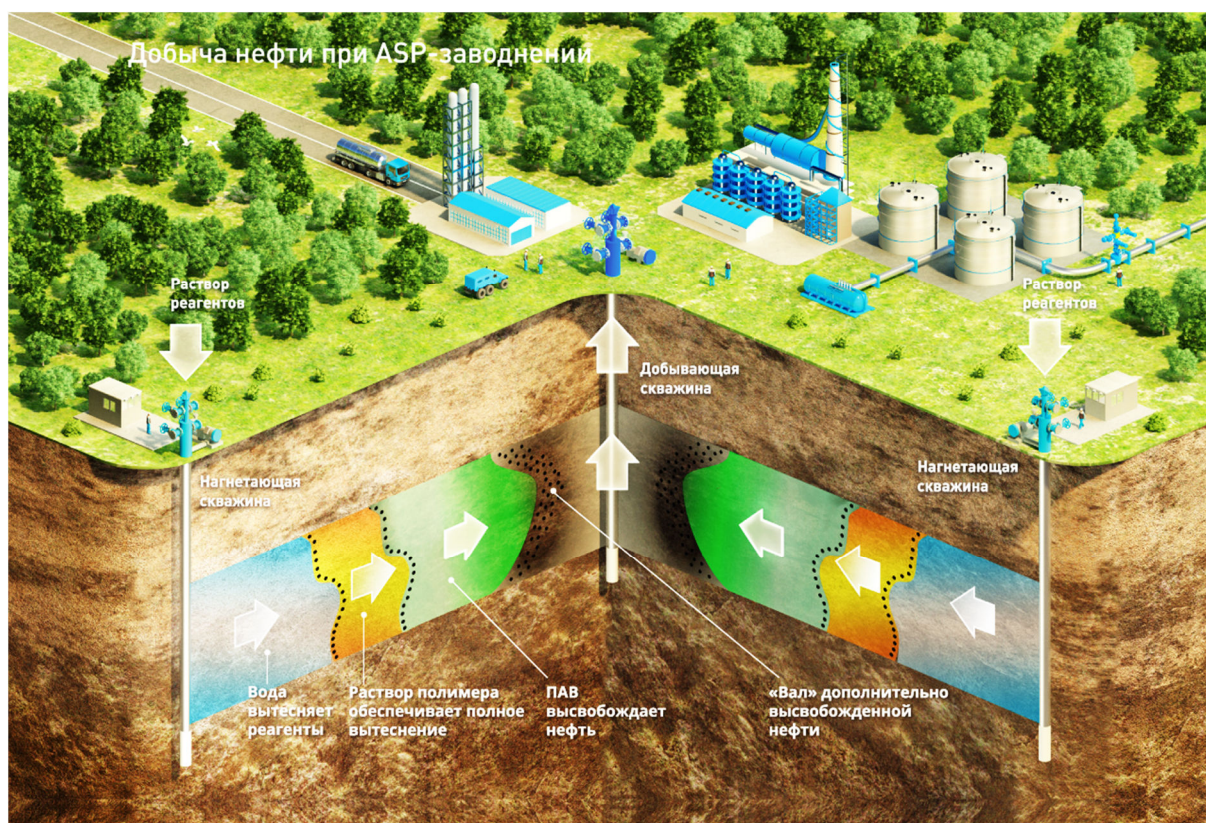


Рисунок 1 – Традиционная схема заводнения АСП [4]

Основные недостатки и ограничения АСП заводнения:

- Сравнительно высокие эксплуатационные затраты из-за стоимости химических реагентов.
- Потери химических реагентов, понижающие эффективность процесса:
 - удерживание в коллекторе (адсорбция на глинах, потери ПАВ в нефти);
 - потеря химического раствора при закачке в непродуктивные зоны;
 - хроматографическая сепарация компонентов раствора АСП;
 - снижение активности раствора при взаимодействии с флюидами коллектора.

- Понижение приемистости нагнетательных скважин при закачке химраствора вызванное:
 - закачкой более вязкого раствора полимера;
 - солеобразования при реагировании химических реагентов с водой и породой коллектора;
 - образование вязких водонефтяных эмульсий в коллекторе;
 - закупоривание породы призабойной зоны скважины полимером.
- Эксплуатация оборудования при заводнении АСП более сложная по сравнению с традиционным заводнением:
 - более сложный процесс подготовки нефти при добыче стойких эмульсий;
 - жесткие требования по подготовке закачиваемого раствора: водоподготовка и дозировка химреагентов;
 - проблема утилизации добытой жидкости, содержащей химические реагенты.

Список литературы:

1. Шэн Дж.Дж. Критический обзор щелочно-полимерного заводнения // Журнал технологий разведки и добычи нефти. – 2017. – Т. 7. – С. 147–153.
2. Заводнение ПАВ и ПАВ-полимер для повышения нефтеотдачи / А. Саманта [и др.] // Достижения в области разведки и разработки нефтяных месторождений. – 2011. – Т. 2. – С. 13–18.
3. Полимерное заводнение и его комбинации с другими химическими методами заводнения при повышении нефтеотдачи / Р. Погаку [и др.] // Бюллетень полимеров. – 2018. – Т. 75. – С. 1753–1774.
4. Пал Н., Саксена Н., Мандал А. Характеристика оторочек щелочь-ПАВ-полимера с использованием синтезированного димерного ПАВ для потенциального применения в повышении нефтеотдачи // Журнал нефтяной науки и техники. – 2018. – Т. 168. – С. 283–300.

УДК 614.842

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ****Самородов
Александр Валерьевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
alex.samorodoff@gmail.com**Малеева
Алсу Вячеславовна****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
maleeva_alsu@mail.ru**Пичугин
Никита Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
polkir314@gmail.com

Аннотация. В статье описаны основные элементы обеспечения пожаровзрывобезопасной работы электрооборудования в нефтегазовом комплексе.

Ключевые слова: пожаровзрывобезопасность, электрооборудование, нефтегазовое производство, система предотвращения пожара, система противоаварийной защиты.

Высокая пожарная опасность объектов нефтегазовой отрасли обусловлена рядом специфических факторов, среди которых одним из наиболее значимых является присутствие и обращение в технологических процессах объекта большого количества пожаровзрывоопасных веществ и материалов.

Пожаровзрывобезопасность объекта – это состояние объекта, характеризующее возможность предотвращения возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара.

Непрерывное и исправное функционирование электрооборудования – важная составляющая обеспечения безопасной эксплуатации объектов нефтегазового комплекса.

Электрооборудование на объектах нефтегазодобывающих производств должно обладать высокой стойкостью в плане защиты от воздействий факторов окружающей среды.

Все ячейки распределительных устройств, которые рассчитаны на напряжение порядка 6 кВ, должны оснащаться соответствующими блокировочными и запорными устройствами. Благодаря этому исключается возможность включения разъединителя в случае неплотного закрытия задней двери ячейки, а также гарантируется неподача напряжения на разъединитель во время включения высоковольтного контактора, вакуумного, масляного или электрогазового выключателя.

Все токопроводящие части электрических приборов и установок должны обязательно иметь заземление, которое обеспечивает соответствующий уровень безопасности. Одиночно стоящее оборудование может иметь как собственный контур заземления, так и присоединяться к общему, но при помощи отдельного проводника. В то же время Правилами запрещается последовательное включение в одно устройство заземления нескольких объектов, расположенных в разных зданиях. [1]

Ремонтно-восстановительные работы любых технических устройств, имеющих электропривод, выполняются с обязательными мерами, исключающими случайное включение установки.

Чтобы иметь возможность выполнить починку коммутационной аппаратуры, обеспечивающей связь между объектами нефтегазового хозяйства, предусматривается прямой линейный разъединитель.

Все объекты нефтегазовых производств также обеспечиваются специальными светильниками переносного (ручного) типа, которые используются в помещениях с повышенной опасностью и в особо опасных помещениях (не выше 50 В), и при работах в особо неблагоприятных условиях и снаружи (не выше 12 В). Светильники (стационарные или переносные) аварийного и эвакуационного освещения должны питаться от отдельного источника электропитания

Основные требования по обеспечению взрывобезопасности

При проектировании площадочных сооружений электрооборудование монтируется во взрывозащитном исполнении, причем с учетом классификации типов размеров взрывоопасных зон. [3]

Любые закрытые помещения, которые имеют сообщение с зонами, относящимися к классам 0 и 1, считаются взрывоопасными. При их проектировании особое внимание уделяется системам вентиляции, а также ряду дополнительных факторов, влияющих на возможные утечки. Ведь именно определенная концентрация паров углеводородов в закрытом помещении может привести к взрыву, поэтому так важно обеспечить эффективную вентиляцию производственных цехов и помещений.

На каждый тип электрооборудования, используемого на объектах нефтяной и газовой промышленности обязательно должен иметься документ о его соответствии действующим нормам и правилам. Эксплуатация электротехнического оборудования при выявленных неисправностях в блокировке, схемах оповещения, управления защиты, повреждениях элементов взрывозащиты не допускается.

Система предотвращения пожара

Целью создания систем предотвращения пожаров является исключение условий возникновения пожаров.

Исключение условий возникновения пожаров достигается исключением условий образования горючей среды или исключением условий образования в горючей среде источников зажигания.[2]

Исключение условий образования горючей среды должно обеспечиваться одним или несколькими из следующих способов:

- применение негорючих веществ и материалов;
- использование наиболее безопасных способов размещения горючих веществ и материалов, а также материалов, взаимодействие которых друг с другом приводит к образованию горючей среды;
- поддержание безопасной концентрации в среде окислителя или горючих веществ;
- понижение концентрации окислителя в горючей среде в защищаемом объеме;
- механизация и автоматизация технологических процессов, связанных с обращением горючих веществ;
- установка пожароопасного оборудования в отдельных помещениях или на открытых площадках.

Исключение условий образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания должно достигаться одним или несколькими из следующих способов:

- применение электрооборудования, соответствующего классу пожароопасной и (или) взрывоопасной зоны, категории и группе взрывоопасной смеси;
- применение в конструкции быстродействующих средств защитного отключения и перекрытия опасных участков, приводящих к появлению источников зажигания;
- применение оборудования и режимов проведения технологического процесса, исключающих образование статического электричества;
- устройство молниезащиты зданий, сооружений, строений и оборудования;
- поддержание безопасной температуры нагрева веществ, материалов и поверхностей, которые контактируют с горючей средой;
- применение искробезопасного инструмента при работе с легковоспламеняющимися жидкостями и горючими газами;
- применение устройств, исключающих возможность распространения пламени из одного объема в смежный.

Система противоаварийной защиты (ПАЗ)

ПАЗ предназначена для локализации, предотвращения распространения аварий и сокращения времени действия персонала при возникновении аварий.[4]

Система ПАЗ состоит из двух независимых режимов:

Автоматический режим

При возникновении пожара происходит срабатывание пожарного извещателя, с выводом сигнала в операторную и последующим адресным включением насосов пожаротушения.

При возникновении пожара на складе хранения ингибитора гидратообразования или в ингибиторной насосной происходит автоматическое закрытие электроздвижек, на линиях подачи ингибитора в насосную. Далее происходит отключение дозирующих насосов.

При возникновении пожара на измерительной емкости происходит автоматическое закрытие электроздвижек на блоке входных линий и на выходе из измерительной емкости.

Ручной режим

При возникновении разрыва, разгерметизации технологического оборудования и трубопроводов, загазованности, утечки нефтегазоконденсатной смеси (НГКС), пожара в местах отсутствия пожарных извещателей и т.д. дежурный оператор, убедившись в невозможности локально устранить данную аварию, производит нажатие кнопки аварийной остановки. При нажатии данной кнопки происходит:

- автоматическое закрытие электроздвижки выхода газа с технологического блока в газопровод и выхода НГКС с технологического блока в продуктопровод;
- автоматическое открытие электроздвижек сброса газа на факел;
- автоматическое отключение дозирующих насосов
- автоматическое отключение насосов при откачке НГКС из дренажной емкости.

Список литературы:

1. О пожарной безопасности: Федер. закон от 21.12.94 г. № 69-ФЗ; принят Гос. Думой 18.11.94 г.; введ. 26.12.94 г. // Собр законодательства РФ. – 1994. – № 35, ст. 3649 (с изм. от 30.12.2012 г. № 283-ФЗ).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. – 2008. – № 30 (ч. 1), ст. 3579 (с изм. от 02.07.2013 г. № 185-ФЗ).
3. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-540-03) / Колл. авт. – М. : ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 125 с.
4. Ларионов В.И. Обеспечение безопасности объектов нефтегазового комплекса на основе специализированных геоинформационных технологий : дис. ... д-ра техн. наук. – Уфа, 2004.

УДК 614.847.9

**УСТРОЙСТВО ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ
ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА****Самородов
Александр Валерьевич****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
alex.samorodoff@gmail.com**Малеева
Алсу Вячеславовна****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
maleeva_alsu@mail.ru**Пичугин
Никита Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант кафедры электротехники и электрических машин
polkir314@gmail.com

Аннотация. В статье изложены основные элементы пожарной сигнализации объектов нефтегазодобывающих производств.

Ключевые слова: пожарная сигнализация, контроль загазованности, пожаротушение, пожарные извещатели, система оповещения.

Автоматическая система пожарной сигнализации (АСПС), контроля загазованности (КЗ) и пожаротушения (ПТ) обеспечивает:

- контроль состояния пожарной безопасности технологических объектов;
- управление оборудованием установок пожаротушения;
- сигнализацию на пульт оператора информации о неисправности системы;
- оповещение работников о возникновении пожара;
- сигнализацию загазованности;
- возможность расширения выполняемых функций без изменения структуры программного обеспечения;

– передача аварийных сигналов на систему противоаварийной защиты АСУ ТП с целью запуска алгоритмов аварийного останова при пожаре и загазованности. [1]

Достижение поставленной цели и выполнение поставленных задач осуществляется за счет:

– применения современных средств пожарной сигнализации и программно-технических комплексов с высокой эксплуатационной надежностью и высокими характеристиками по точности;

– обеспечения комплектной поставки средств и систем пожарной сигнализации и автоматизации, включая датчики, преобразователи, пожарные извещатели, источники питания, исполнительные механизмы;

– использования унифицированных средств и систем пожарной сигнализации, программно-технических комплексов и интерфейсов взаимодействия между уровнями управления;

– оптимизации структуры АСПС, КЗ и ПТ, позволяющей исключить избыточность технических средств, уменьшить затраты кабельной продукции, снизить трудоемкость технического обслуживания и ремонта.

Типы пожарных извещателей определены в зависимости от назначения защищаемых помещений и сооружений, вида пожарной нагрузки и с учетом климатических, механических, электромагнитных, других воздействий в местах их размещения. [4]

Используемые пожарные извещатели устойчивы к воздействию электромагнитных помех со степенью жесткости не ниже второй по НПБ 57-97 «Приборы и аппаратура автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации. Помехоустойчивость и помехоэмиссия. Общие технические требования. Методы испытаний». [2]

В помещениях, оборудованных автоматической установкой пожарной сигнализации (АУПС), предусмотрено блокирование систем вентиляции и воздушного отопления при срабатывании установок (систем) извещения и тушения пожара.

В качестве ручных извещателей на открытых технологических площадках предусматривается применение взрывозащищённых извещателей ИПР 535-07е.

Извещатель пожарный ручной ИПР 535-07е предназначен для построения новых и модернизации уже имеющихся на объектах пороговых систем пожарной сигнализации. Формирования сигнала «ПОЖАР» производится путем извлечения приводного элемента.

Основные технические характеристики:

- маркировка взрывозащиты, 1Exdm I I CT6;
- напряжение питания, 8–28 В;
- максимальный потребляемый ток, 200 мкА;
- условия эксплуатации, от минус 60 до плюс 85 °С;
- габаритные размеры, не более 245x135x80 мм;
- масса, не более 1,0 кг;
- срок службы, не менее 10 лет.

Для помещений, в которых в качестве первичного признака возникновения пожара является дым, использованы дымовые извещатели ИП-212-ЗСУ.

Извещатель пожарный ИП-212-ЗСУ предназначен для обнаружения загораний, сопровождающихся появлением дыма в закрытых помещениях зданий и сооружений различного назначения. Извещатель рассчитан на непрерывную эксплуатацию при температуре окружающей среды от – 40 до + 60 °С и относительной влажности до 95 ± 3 % при температуре – + 35 °С. Степень защиты оболочки извещателя IP30 по ГОСТ 14254-80.

Взрывозащищённый извещатель пламени ИП 329/330-20-А1 предназначен для установки на открытых площадках. Унифицированный ультрафиолетовый/инфракрасный (УФ/ИК) извещатель пламени пожарный ИП 329/330-20-А1 представляет собой прибор, состоящий из УФ и ИК датчиков микропроцессорного контроллера управления, размещенных в едином взрывозащищенном корпусе. Извещатель оборудован системой контроля оптических цепей (функция ОН).

Извещатель не подвержен воздействию климатических условий (таких как ветер, дождь) или экстремальных перепадов температуры и давления. Срабатывает на пламя углеводородов (жидких, газообразных и твердых) даже в присутствии помех от УФ или ИК излучений. Для формирования сигнала «пожар» требуется одновременное срабатывание обоих датчиков. Поскольку эти два чувствительных элемента контролируют разные спектры излучения, они практически не имеют УФ и ИК источников ложного срабатывания. Может применяться во взрывоопасных зонах.

Технические характеристики ИП 329/330-20:

- Напряжение питания, от 18 до 30 В постоянного тока (номинальное – 24 В);
- Потребляемая мощность, номинальная – 2,8 Вт, максимальная в режиме «пожар» – 4,8 Вт, максимальная потребляемая мощность подогревателя – 8 Вт;
- Диапазон спектральной чувствительности, УФ – от 0,185 до 0,245 мкм, ИК – от 4,2 до 4,7 мкм;
- Угол обзора детекторов: 90°;
- Температурный диапазон эксплуатации, стандартная модель – 60...+75 °С, термостойкая модель – от –60 до +125 °С;
- Маркировка взрывозащиты 1Exd I I BT6(T5, T4);
- Степень защиты оболочкой I P66;
- Выходы: реле пожара, реле неисправности, дополнительное реле, RS-485 MODBUS.

Пожарные извещатели пламени устанавливаются на перекрытиях и стенах, с учетом исключения возможных воздействий оптических помех, и обеспечивают контроль защищаемой поверхности, исходя из значений угла обзора извещателя и в соответствии с технической документацией на него завода-изготовителя.

Дымовые пожарные извещатели устанавливаются на потолке на расстоянии не менее 0,1 м и не более 4,5 м от стен.

Ручные пожарные извещатели устанавливаются на стенах рядом с дверными проемами на высоте 1,5 м от пола.

Система оповещения является составной частью автоматической пожарной защиты и предназначена для оповещения о пожаре. Система оповещения первого типа: звуковое автоматическое (подача сигналов тревоги).

Система пожарной сигнализации в блоках полной заводской готовности предусматривается поставкой завода-изготовителя, при этом система должна удовлетворять нормам СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности». [3]

В системе оповещения применяются оповещатели взрывозащищенные пожарные звуковые ВС-07е.

Основные технические характеристики:

- маркировка взрывозащиты 1ExdIICT6;
- напряжение питания, 12–24 В;
- максимальный потребляемый ток, 0,07 А;
- звуковое давление на расстоянии $(1,00 \pm 0,05)$ м, не менее 100 Дб;
- тип звукового сигнала – сирена;
- диапазон частот генерируемого звукового сигнала, 1,0–4,5 кГц;
- степень защиты оболочки, IP 65;
- температура эксплуатации, от – 55 до + 70 °С
- допускаемая продолжительность непрерывной работы в режиме подачи звукового сигнала, не более 3 часов;
- габаритные размеры корпуса оповещателя, без кабельных вводов и кронштейна, не более 85×85×135 мм;
- масса оповещателя, не более 2 кг
- срок службы, не менее 10 лет.

Список литературы:

1. Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности. Книга 2: Оборудование технологических комплексов и установок : учебник для студентов высшего профессионального образования. – М. : ИП РадиоСофт, 2015. – 440 с.

2. НПБ 57-97 «Приборы и аппаратура автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации. Помехоустойчивость и помехоэмиссия. Общие технические требования. Методы испытаний»

3. СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности»

4. СНиП 2.04.09-84 «Пожарная автоматика зданий и сооружений». – М. : Госстрой СССР, 1985.

УДК 622.24

БУФЕРНАЯ ЖИДКОСТЬ ДЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН**Самохвалов
Владимир Евгеньевич****Научно-исследовательский институт природных
газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ**
ведущий инженер
samohvalov_ve@bk.ru

Аннотация. В статье представлена буферная жидкость для цементирования скважин, обладающая повышенной смывающей способностью.

Ключевые слова: скважина, фильтрационная корка, буферная жидкость.

Для обеспечения надежного сцепления цементного камня с горными породами при цементировании скважин используются буферные жидкости, закачиваемые в качестве разделяющих сред между буровым и тампонажным растворами с целью повышения степени вытеснения бурового раствора тампонажным в зоне крепления скважины, удаления шлама, неуплотненной части фильтрационной корки со стенок скважины и пленки бурового раствора с поверхности обсадных труб [1, 2].

Современное назначение применения буферных жидкостей, обеспечивающим повышению качества цементирования, должно отвечать следующим требованиям [3, 4]:

- предупреждение смешивания бурового и цементного растворов;
- предупреждение образования труднопрокачиваемых смесей;
- обеспечение максимальной полноты замещения бурового раствора цементирочным;
- удаление фильтрационной корки на стенках скважины;
- обеспечение надежного контакта цементирочной смеси с горной породой.

Фильтрационная корка образуется в результате разделения твердой и жидких фаз бурового раствора в процессе его фильтрации. Последняя имеет определенную прочность, уменьшение которой под воздействием различных буферных жидкостей характеризует эффективность их использования. Буферная жидкость, лучше удаляющая корку, будет также действовать и при удалении налипаний на колонну, очистке застойных зон, каверн и т.п. [2, 5, 6].

Воздействие жидкостей на фильтрационные корки изучается на различных лабораторных установках, позволяющих подобрать наиболее эффективный состав [7–15]. Также в качестве буферных жидкостей могут быть использованы физико-химически активные составы технологических жидкостей [16–25].

Смывающую способность буферной жидкости определяли в лабораторных условиях путем определения потери массы глинистой корки, сформированной на неподвижном и вращающемся дисках во времени по методике [26]. При постоянном перемешивании в течение 10 минут в эксикаторе приготовили смесь из бентонитового глинопорошка и воды. Затем смесь выдерживали в течение трех суток, после чего приготовленную пасту наносили лопаточкой в виде глинистой корки на диск, изготовленный из фторопластового материала и взвешивали диск с коркой. В качестве составов буферных жидкостей исследовали 5,5 % водный раствор бисульфата натрия (NaHSO_4) и 10 % водный раствор сернокислого алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

Испытания с неподвижным диском проводили в четыре этапа. На каждом этапе диск с глинистой коркой погружали на 15 минут в химический стакан, наполненный буферной жидкостью, по истечении которых диск с коркой извлекали из стакана и взвешивали.

В промысловых условиях в зависимости от скорости прокачки и объема буферной жидкости время взаимодействия последней с коркой обычно не превышает 10 минут. Лабораторные испытания проводились также в течение 10 минут при постоянной

скорости вращения. Испытания проводились в четыре этапа по 2,5 минуты. В конце каждого этапа диск с коркой останавливали, извлекали из стакана и взвешивали. Результаты опытов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние буферной жидкости на массу глинистой корки

Состав буферной жидкости	При неподвижном диске		При вращающемся диске	
	Масса диска с коркой, г	Время испытания t, мин	Масса диска с коркой, г	Время испытания t, мин
10 % $Al_2(SO_4)_3$ (сернокислый алюминий)	17,50	0	17,50	0
	17,42	15	17,59	2,5
	16,85	30	17,67	5
	16,38	45	17,48	7,5
	15,96	60	17,21	10
5,5 % $NaHSO_4$ (бисульфат натрия)	17,50	0	17,50	0
	15,83	15	16,32	2,5
	14,32	30	15,64	5
	13,41	45	14,76	7,5
	12,78	60	13,48	10

Исследования показали, что применение 5,5 % водного раствора $NaHSO_4$ в качестве буферной жидкости приводит к уменьшению массы корки на диске в 1,5–2 раза быстрее, чем в случае использования 10 % водного раствора $Al_2(SO_4)_3$. В динамических условиях 10 % водный раствор $Al_2(SO_4)_3$ в течение 5 минут не оказывает воздействия на корку и в дальнейшем дает незначительное уменьшение массы корки на диске по сравнению с 5,5 % водным раствором $NaHSO_4$.

Вывод. Таким образом, использование 5,5 % водного раствора $NaHSO_4$ в качестве буферной жидкости позволит обеспечить надежный контакт цементного камня со стенкой скважины и поверхностью обсадных труб, что повысит надежность и долговечность крепления скважин.

Список литературы:

1. Разработка новой буферной жидкости для цементирования скважин / Е.А. Рогов [и др.] // Бурение и нефть. – 2003. – № 9. – С. 22–25.
2. Рогов Е.А. Разработка методов оценки составов технологических жидкостей для разупрочнения глинистых образований при бурении скважин : Дис. ... канд. техн. наук / Научный центр нелинейной волновой механики и технологии Российской академии наук. – М., 2011. – 125 с.
3. Рогов Е.А. Выбор буферных жидкостей при цементировании газовых скважин // Газовая промышленность. – 2008. – № 2. – С. 54–56.
4. Рогов Е.А. Буферная жидкость для цементирования скважин на подземных хранилищах газа // Газовая промышленность. – 2014. – № 3. – С. 60–62.
5. Патент РФ на изобретение № 2309175. Буферная жидкость / Леонов Е.Г., Рогов Е.А., Джафаров К.И., Нифантов В.И., Литвинов Л.Н. Оpubл. 27.10.2007. Бюл. № 30. Заявка № 2004137512/03 от 22.12.2004.
6. Патент РФ на изобретение № 2455334. Буферная жидкость / Рогов Е.А., Солдаткин С.Г. Оpubл. 10.07.2012. Бюл. № 9. Заявка № 2010123283/03 от 07.06.2010.
7. Патент РФ на полезную модель № 162266. Установка для формирования фильтрационных корок / Рогов Е.А., Солдаткин С.Г., Джафаров К.И. Оpubл. 10.06.2016. Заявка № 2015154019/05 от 16.12.2015.
8. Патент РФ на изобретение № 2680274. Установка для оценки смывающей способности буферных жидкостей / Рогов Е.А. Оpubл. 19.02.2019. Бюл. № 5. Заявка № 2018102671 от 23.01.2018.

9. Патент РФ на полезную модель № 58709. Устройство для определения коэффициента трения фильтрационной корки / Рогов Е.А. Оpubл. 27.11.2006. Бюл. № 33. Заявка № 2006124602/22 от 10.07.2006.

10. Рогов Е.А., Грачев В.В., Леонов Е.Г. Методика оперативной оценки эффективности составов жидкостей для разглинизации пористых образцов // Строительство скважин на суше и на море. – 1999. – № 1–2. – С. 29–32.

11. Патент РФ на полезную модель № 132200. Устройство для проведения исследований фильтрационных процессов в породе пласта при глушении скважин / Е.А. Рогов, С.Г. Солдаткин, М.Ю. Барщев. Оpubл. 10.09.2013. Бюл. № 25. Заявка № 2013118623/28 от 23.04.2013.

12. Рогов Е.А. Оценка герметичности скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 3. – С. 27–30.

13. Патент РФ на полезную модель № 96962. Установка для проведения исследований / Рогов Е.А. Оpubл. 20.08.2010. Бюл. № 33. Заявка № 2010111972/22 от 29.03.2010.

14. Рогов Е.А. О коэффициенте трения бурильного инструмента о фильтрационную корку // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 434–436.

15. Рогов Е.А. Ликвидация прихватов при бурении глинистых пород // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 6. – С. 14–17.

16. Рогов Е.А. Исследование проницаемости призабойной зоны скважин при воздействии технологическими жидкостями // Записки Горного института. – 2020. – Т. 242. – № 2. – С. 169–173.

17. Патент РФ на изобретение № 2679936. Способ очистки призабойной зоны пласта от глинистых образований. Оpubл. 14.02.2019. Бюл. № 5. Заявка № 2018108337 от 06.03.2018.

18. Рогов Е.А. Исследование эффективности воздействия комплексонов на восстановление проницаемости продуктивных горизонтов // Строительство скважин на суше и на море. – 2022. – № 10 – С. 48–52.

19. Патент РФ на изобретение № 2617135. Способ очистки призабойной зоны пласта от глинистых образований / Рогов Е.А. Оpubл. 21.04.2017. Бюл. № 12. Заявка № 2015155147 от 22.12.2015.

20. Патент РФ на изобретение № 2559267. Состав для обработки призабойной зоны пласта терригенных коллекторов / Рогов Е.А. Оpubл. 10.08.2015. Бюл. № 22. Заявка № 2014125461/03 от 24.06.2014.

21. Rogov E.A. Development of the composition of the process fluid to eliminate bit seizure // Journal of Mining Institute. – 2019. – Vol. 237. – P. 281–284. – DOI : 10.31897/PMI.2019.3.281.

22. Рогов Е.А. Восстановление проницаемости призабойной зоны пласта в открытом стволе скважины // Нефтепромысловое дело. – 2015. – № 9. – С. 17–21.

23. Рогов Е.А. Технологическая жидкость для обработки призабойной зоны пласта терригенных коллекторов на подземных хранилищах газа // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 5. – С. 34–36.

24. Рогов Е.А. Выбор состава технологической жидкости для очистки призабойной зоны пласта от глинистых образований // Нефтепромысловое дело. – 2014. – № 10. – С. 41–43.

25. Рогов Е.А. Состав технологической жидкости для декольматации призабойной зоны пласта // Строительство скважин на суше и на море. – 2016. – № 6. – С. 38–40.

26. Рогов Е.А., Леонов Е.Г. Выбор состава ванн для ликвидации прихватов трубных колонн // Бурение и нефть. – 2006. – № 4. – С. 11–14.

УДК 622.276.6

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ****Светлов
Кирилл Юрьевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
kirill.svetlov00@mail.ru**Гиляев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Пальчикова
Людмила Сергеевна****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела

Аннотация. Применимость методов, описанных в статье позволяет усовершенствовать технология увеличения нефтеотдачи пласта.

Ключевые слова: заводнение, разработка.

Решение одной из важнейших задач в нефтяной промышленности – увеличение коэффициента извлечения нефти – требует применения эффективных методов разработки месторождений. Большое внимание привлекают гидродинамические методы повышения коэффициента нефтеизвлечения, связанные с изменением величины и направления градиентов пластового давления. В России с помощью гидродинамических методов извлекается более 50 % нефти всех применяемых методов увеличения коэффициента извлечения нефти. В настоящее время основным способом выработки месторождений Западной Сибири является заводнение нефтяных пластов. Одной из относительно не дорогих для внедрения технологий, относящихся к гидродинамическим методам, является нестационарное заводнение. Для условий, когда коллекторы характеризуются высокой неоднородностью пласта, повышенной вязкостью нефти и низкой проницаемостью, обычное заводнение становится малоэффективным. Применение нестационарного заводнения позволяет снижать текущую обводненность, увеличивать охват пластов заводнением, поддерживать достигнутый уровень добычи нефти. Метод применим для нефти малой и средней вязкости, но наибольший эффект может быть получен при вытеснении маловязкой нефти в песчаных коллекторах. Применение этого метода рекомендуется на объектах с большими остаточными запасами подвижной нефти, где по данным текущего геолого-промыслового анализа наблюдается резкое ухудшение процесса вытеснения и прогрессирующее обводнение скважин. Высокий прирост нефтеотдачи можно достичь и на последней стадии разработки, однако, чем позднее стадия, на которой осуществляется изменение направления потоков, тем больше необходимо отобрать жидкости для достижения одного и того же прироста нефтеотдачи.

В настоящее время применяются различные вариации и модификации методов гидродинамического воздействия. Применение того или иного метода обосновывается сложившимися условиями разработки объекта, техническими возможностями имеющегося оборудования и др. К основным видам нестационарного гидродинамического воздействия на пласт, выбор которых определяется геолого-физическими и технологическими условиями относят: отключение обводнившихся скважин или снижение отборов жидкости из них; увеличение градиентов давления в окрестности добывающих скважин путем снижения забойных давлений (форсирование отборов); увеличение расхода нагнетаемой жидкости по отдельным группам скважин для повышения градиентов

давления в направлении, где имеется невытесненная нефть; рациональное снижение скорости фильтрации для интенсификации межслойного обмена фазами в пластах; периодическое снижение или прекращение закачки как способ реализации упругих проявлений в пласте; снижение пластового давления до давления насыщения для разгазирования оставшейся в обводненном пласте нефти; периодическое повышение давления нагнетания сверх критического при заводнении пластов, когда проницаемость зависит от давления.

На рисунке 1 схематично показаны принципы возникновения перетоков при проведении нестационарного заводнения.

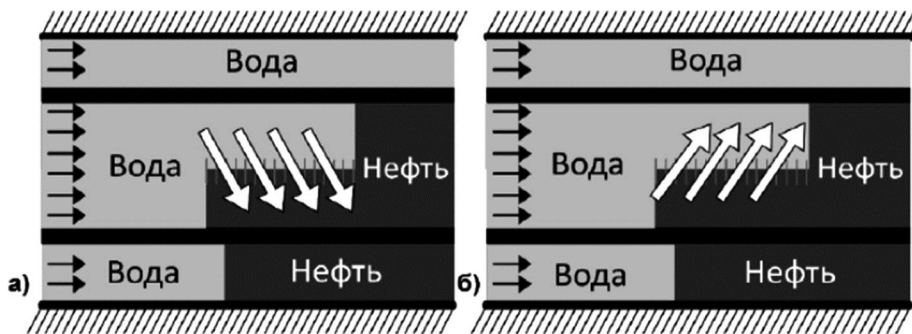


Рисунок 1 – Схематичное изображение зоны эффективных для нестационарного заводнения вертикальных перетоков: а) 1 полуцикл – закачка воды; б) 2 полуцикл – остановка нагнетательной скважины или увеличение отбора на добывающей скважине

Для успешного применения технологий заводнения необходимо моделирование процессов заводнения, с целью определения поведения показателей пласта и разработки в результате и в момент заводнения.

Таким образом, решение таких задач как моделирование процессов, происходящих во время разработки месторождения, требует высокотехнологическое оборудование и программное обеспечение. Необходимость использования автоматизированной системы сбора и обработки информации (АССОИ) обусловлена важностью обратной связи между постоянно – действующей геолого-технологической моделью (ПДГМ) и результатами эксплуатации месторождения с целью повышения адекватности моделей и правильности принятия управленческих решений. На рисунке 2 изображена принципиальная схема взаимодействия элементов системы в целом.

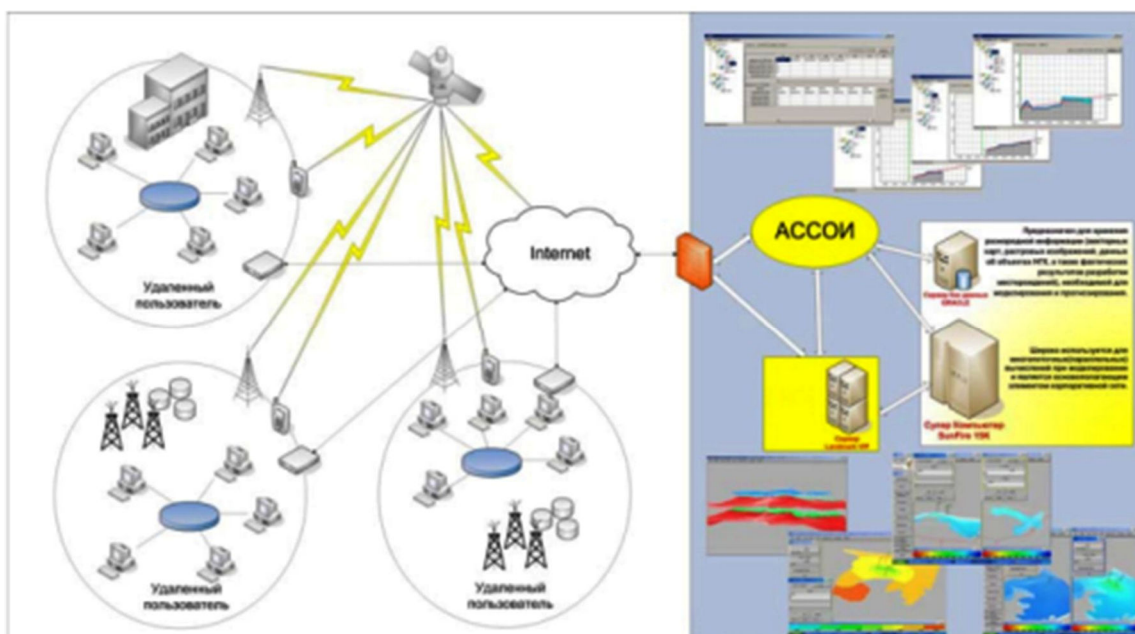


Рисунок 2 – Общая схема взаимодействия элементов системы

Система состоит из двух подсистем: административной и клиентской. Подсистема администрирования предназначена для моделирования структуры организации, для наполнения справочно-информационных полей базы данных. Также система позволяет каждому из объектов назначить индивидуальные параметры, которые условно можно разделить на изменяемые и статические. Каждый параметр обладает следующими свойствами: название, тип (числовой, строковый, объектный), периодичность обновления и т.д. Важным аспектом разработки системы является разграничение прав доступа пользователей. Такая система доступа позволяет каждому пользователю назначить определенные возможности по работе с автоматизированной системы сбора и обработки информации (АССОИ) (например, оператору на месторождении не будет доступна функция движения фонда скважин) и строго задать объекты, которые попадают в его зону ответственности. В момент моделирования закладывается модель фонтов скважин. Дальнейшие движения данных объектов нефтегазового комплекса из фонда в фонд неразрывно связаны с определенными событиями в системе: поломка, плановые работы, ремонт и т.д., которое регистрируется системой. Пользователь, ответственный за движение фонда скважин, в соответствии с политикой безопасности может осуществлять движение только разрешенных ему объектов. Клиентская подсистема предназначена для ввода оперативной информации в базу данных с целью дальнейшего использования в качестве фактических результатов разработки месторождения при гидродинамическом моделировании следующего этапа. На рисунке 3 приведен пример окна ввода оперативных данных с месторождения.

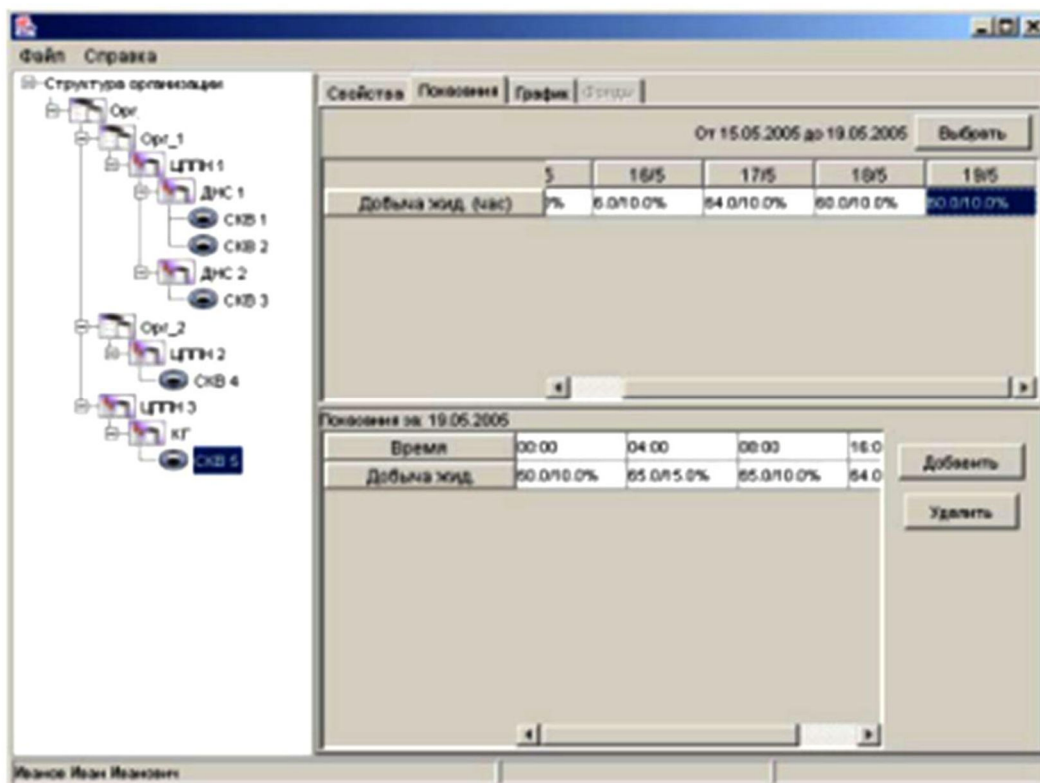


Рисунок 3 – Окно ввода оперативных данных

Кроме того, предусмотрена визуализация накопленных данных в виде графиков с возможностью прогнозирования количества добычи жидкости при известном темпе роста и обводненности. На рисунке 4 пример визуализации накопленных данных.

Анализ развития гидродинамического моделирования и возможности современных программных комплексов показал увеличение уровня автоматизации и гибкости при прогнозировании системы разработки нефтяной залежи. Появились возможности задания многоуровневых алгоритмов для регулирования режимов работы скважин в зависимости от изменения состояния разработки.

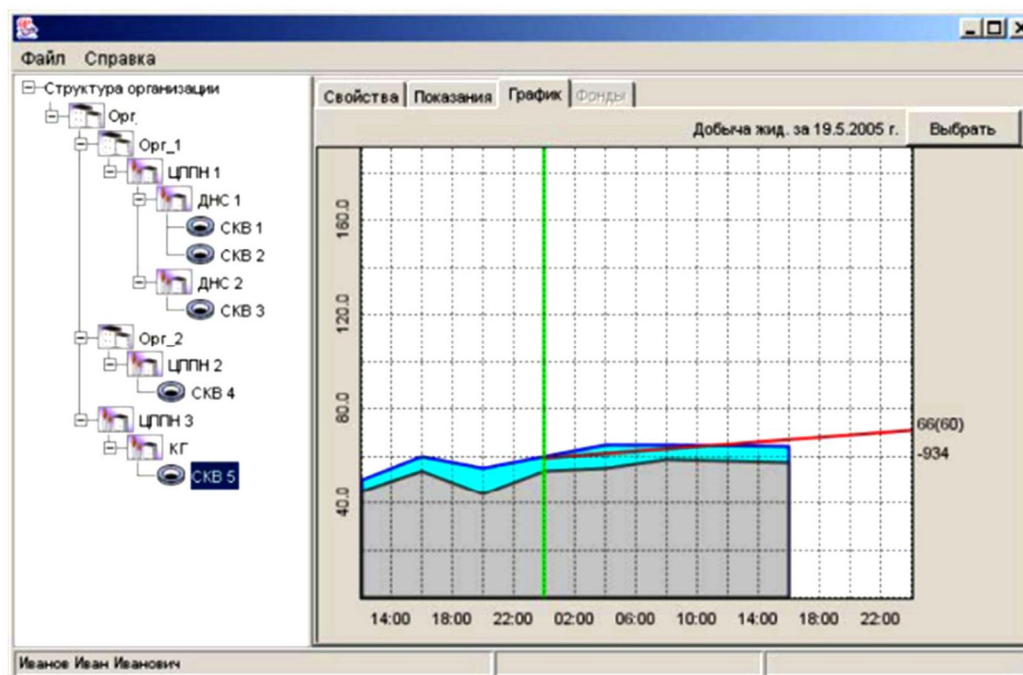


Рисунок 4 – Окно визуализации накопленных данных

Список литературы:

1. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
2. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
3. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
4. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
5. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескоаний горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
6. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
7. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
8. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
9. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
10. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021.

Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

11. Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Повышение эффективности избирательной кислотной обработки скважин путем применения точечной гидropескоструйной перфорации. Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 2. – С. 146–152.

12. Проблемы предупреждения и ограничения пескопроявлений в нефтедобыче / Г.Г. Гилаев [и др.]. – М., 2004.

13. Гилаев Г.Г., Ковалёв Н.И., Хисметов Т.В. Справочное пособие по технологии и техническим средствам добычи нефти. – Краснодар, 2005. – Ч. 2.

14. Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Исследование процесса возбуждения пульсаций в движущемся потоке жидкости в трубопроводе // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 93–98.

15. Оптимизация состава сооружений как элемент управления затратами при обустройстве нефтяных месторождений / Г.Г. Гилаев [и др.] // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2015. – № 3 (40). – С. 78–80.

16. Вартумян Г.Т., Гилаев Г.Г., Тригубова Е.А. Проблемы повышения долговечности цементного камня в скважине. – М., 2001.

17. Гилаев Г.Г. Способы решения проблемы высокого затрубного давления, создаваемого попутным нефтяным газом, в скважинах, эксплуатирующихся УЭЦН // Ашировские чтения. – 2021. – Т. 1. – № 1 (13). – С. 233–236.

18. Объективные основы бурения горизонтальных и разветвленно-горизонтальных скважин / Г.Г. Гилаев [и др.] // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 304–307.

19. О Причинах появления межколонного давления в нефтегазовых скважинах / А.Т. Кошелев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 7. – С. 16–20.

20. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т., Фоку Ж. Термоволновые методы повышения нефтеотдачи пластов // Освоение и добыча трудноизвлекаемых и высоковязких нефтей. 4-я Международная конференция. – 2004. – С. 18–21.

21. Гилаев Г.Г., Останков Н.А., Козлов С.А., Пашкевич К.Л., Ртищев А.В., Григорян Л.Г., Игнатенков Ю.И. Способ снижения образования вторичного сероводорода при подготовке нефти и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2666543 C1, 11.09.2018. Заявка № 2017119383 от 01.06.2017.

22. Моделирование жидкостных потоков в центробежном сепараторе / Г.Г. Гилаев [и др.] // В сборнике: современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 349–354.

23. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Бахтизин Р.Н. Совершенствование инфраструктуры нефтегазодобычи, как эффективный инструмент поддержания базовой добычи нефти и газа // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2021. – № S2. – С. 121–130.

УДК 551.510.04

**О ВОЗМОЖНОМ ФОНОВОМ УРОВНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ
(ИЗ АТЛАСА ДИАГРАММ 1958–2020 гг.)****Свистов
Петр Филиппович**Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник**Талаш
Сергей Сергеевич**Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова
научный сотрудник**Талаш
Александр Сергеевич**МЧС России
сотрудник**Павлова
Маргарита Тихоновна**Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова
научный сотрудник

Аннотация. Предлагаемая работа содержит иллюстративный и табличный материал по временному ходу компонентов химического состава атмосферных осадков (ХСО) фоновых станций, которые входят в международную систему Глобальной службы атмосферы (ГСА). Минимальная сумма ионов по рассматриваемым станциям 3,7 мг/л (Кавказский БЗ), максимальная кислотность соответствует величине рН = 4,7 (Воронежский БЗ). Исходные измерения ХСО осадков относятся к равновесной месячной, недельной или суточной сумме осадков. Рассматриваются и сопоставляются в основном средние за год временные характеристики 13 основных компонентов состава и сумма осадков. Кроме того, по содержанию калия можно судить о величине и временных изменениях естественной радиоактивности атмосферных осадков. Работа рассчитана на широкий круг любителей природы.

Собрать осадки на химанализ может каждый желающий, что следует делать в чистую полиэтиленовую посуду, помытую без порошка и ополоснутую аптечной дистиллированной водой. Разные наборы индикаторов в том числе для измерения величины рН продаются в магазинах. В некоторых школах Санкт-Петербурга сбор осадков на химанализ введен как практические занятия по экологии.

Ключевые слова: фоновый уровень загрязнения атмосферных осадков, Краснодарский край.

П редисловие

Регулярным исследованиям химического состава атмосферных осадков в СССР положено начало в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ФГБУ «ГГО») во время Международного геофизического года (МГГ) в 1957–1958 гг. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) уделяет большое внимание проблеме загрязнения окружающей среды и возможным последствиям этого явления. Выбросы в атмосферу от стационарных и подвижных источников распространяются на значительные расстояния и могут привести к глобальным изменениям состава атмосферы, что скажется на многих атмосферных процессах, составе почвы и в конечном итоге на изменении климата планеты [1, 2, 5]. Поэтому ВМО поставило задачу – определить современный фоновый уровень загрязнения атмосферы и следить за этим уровнем с тем, чтобы выяснить тенденцию дальнейших изменений. С этой целью была создана мировая сеть фоновых станций. Фоновые станции разделены на две категории: базовые и региональные. Базовые станции рассматриваются как исследовательские, предназначенные для измерений любых атмосферных составляющих и подтверждения или опровержения длительных изменений в составе атмосферы, климата и погоды. В мире создано около 25 таких станций, расположенных в зоне альпийских лу-

гов, крупных заповедников и на небольших островах; при этом на расстоянии не менее 100 км отсутствуют любые не природные источники загрязнения атмосферы. На территории Российской Федерации (РФ) базовые станции отсутствуют. В РФ открыты и регулярно ведут наблюдения 12 фоновых станций регионального уровня. Эти наблюдения призваны оценить длительные изменения в составе атмосферы, связанные с региональной практикой землепользования и других действий. Размещаются станции на расстоянии не менее 60 км от крупных источников промышленных выбросов, на лесных полянах, в заповедниках; учет направлений ветра позволяет в некоторых случаях избегать влияний местных источников на характер загрязнения воздуха.

Фоновые наблюдения были организованы на базе действующих метеорологических станций. Рекомендации по организации фоновых станций регламентированы «Рабочим руководством ВМО по методике отбора и анализа проб воздуха и осадков для определения их химических составляющих» (ВМО № 299, 1971 г и последующие документы). В соответствии с этими рекомендациями в программу работ региональных фоновых станций входят определение характеристик спектральной прозрачности (или мутности) атмосферы и отбор проб атмосферных осадков для определения содержания химических компонентов. В «Рабочем руководстве» рекомендуются некоторые методические приемы для осуществления программы наблюдений, однако допускается использование и национальных методик, если они дают данные сравнимые с методиками ВМО. В СССР и РФ принципы работы на региональных фоновых станциях шире, чем рекомендуемые ВМО. В дополнение к станциям, выбранным в сельском местоположении, подбираются парные станции в городских условиях, расположенные на различных расстояниях от сельских, т.е. используется пара станций «сельская-городская». Это позволяет оценить влияние и колебания загрязнения около промышленных центров на изменения состава воздуха во всем географическом районе. Общее методическое руководство работой фоновых станций возложено на Главную геофизическую обсерваторию, которая определяет районы их расположения и выбирает местоположение. Родоначальниками в ГГО этих работ на сети стали: Селезнёва Е.С., Огнева Т.А., Петренчук О.П., Русина Е.Н., которые, не довольствуясь описанием, нередко ездили на места, чтобы убедиться в правильности выбора. Они стали первыми организаторами международных сравнений аналитических методик ВМО с отечественными. В настоящее время такие сравнения проводятся регулярно с участием нескольких лабораторий Росгидромета. Приборы для химического анализа, а, следовательно, и методики измерений примерно одинаковые: иономеры, рН-метры, кондуктометры, эмиссионные и атомно-абсорбционные спектрофотометры, ионные хроматографы, реже масс-спектрометры.

Происхождению ХСО и различные варианты публикаций о временных и качественных изменениях химсостава осадков, облаков и аэрозолей посвящено ряд исследований сотрудников обсерватории [3, 4]. (О.П. Петренчук. Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 263 с.); (P.F. Svistov, N.A. Pershina. On the trend of chemical elements in Atmospheric Precipitation // WMO. – 1989. – № 724. – P. 12). В работе обобщается опыт 20–30-летних наблюдений на сети СССР; (П.Ф. Свистов, А.С. Зайцев. Кислотность атмосферных осадков в СССР. – Л. : РТП, 1991. – 119 с). Сборник включает 86 станций СССР, в том числе по Заполярью, с периодом наблюдений 1958–1990 гг. и первые измерения величины рН в Антарктиде. В нескольких Ежегодниках ГГО помещена информация о временном ходе отдельных компонентов. Выполнены измерения, связанные с дополнительными фоновыми источниками в атмосфере соединений азота и серы (R.F. Lavrinenko. Nitrogen Compounds in Atmospheric Precipitation // Water, air and soil pollution. – 1995. – № 85. – P. 2149–2154).

В Атласе диаграмм по фону впервые приводится информация временных изменений ХСО за весь период наблюдений (1958–2020 гг.). Описание и всю основную техническую работу выполнили Свистов П.Ф., Талаш С.С., Павлова М.Т. и Талаш А.С. Химический анализ проб осадков выполняли М.Т. Павлова и Е.В. Семенец под руководством Н.А. Першиной.

Память и глубокую благодарность нашу заслуживают первые химики-аналитики ГГО – организаторы регулярных измерений ХСО в гидрохимических лабораториях УГМС: В.М. Дроздова, Р.Ф. Лавриненко, Т.Г. Бондаренко, Л.А. Васильченко, Л.И. Неввонен, А.М. Бовыкина и Л.П. Грязновская. Все имеющиеся методики химического анализа воды были переделаны и приведены в соответствие с величиной и диапазоном

концентрации компонента в атмосферных осадках. Введены были новые тогда спектральные измерения натрия, калия, лития, магния, цинка и тяжёлых металлов. Благодарим наблюдателей метеостанций и химиков-аналитиков ГГО и региональных УГМС.

Общую редакцию настоящей работы осуществили П.Ф. Свистов и М.А. Винник – сотрудница редакции журнала Климат и природа, которой выражаем сердечную признательность.

Основные показатели

Приводимые в работе содержания в атмосферных осадках сульфатов, нитратов, гидрокарбонатов, хлоридов, ионов аммония и металлов отражают количество вещества, поступившего в атмосферу с поверхности и из недр Земли. Надо полагать, что ХСО и в истории формирования атмосферы, осадочных пород и живого вещества на Земле принадлежит немаловажная роль [1, 2]. При этом надёжность временных характеристик о современных погодных и климатических изменениях во многом зависит от точности исходных измерений [1, 3]. Так выпадающие осадки, помимо ошибки сбора, постоянно имеют другой количественный и качественный состав, чем собранные за неделю или месяц. Приведенные значения общей минерализации показывают наиболее высокое содержание примесей в осадках в тех же районах, где велика концентрация аэрозолей в свободной атмосфере. Изменяется не только количество примесей в осадках, но и соотношение ионов. Внутриконтинентальные осадки имеют $Cl^-/Na^+ \approx 1$, а в прибрежной зоне это отношение близко к 1,8 (морская вода). Отношение SO_4^{2-}/Cl^- (для морской воды равно 0,14) в континентальных осадках достигает 2–3. Все подобные соотношения в настоящей работе относятся к исходным измерениям концентрации ионов. Следующими компонентами осадков в основном континентального происхождения следует назвать гидрокарбонатионы и нитраты, постоянными источниками которых считают оксиды углерода и азота, а также карбонатную пыль. Специальные экспедиционные измерения на морском побережье, вблизи открытых разработок рудных месторождений, около крупных городов и промышленных центров с использованием самолётного зондирования атмосферы и сбором проб осадков и аэрозолей показывают, что основная масса вещества выпадает с атмосферными осадками и рассеивается в 20–25-километровой зоне. В общей массе тропосферных аэрозолей принимается: континентальные составляют 55 %, морские – 40 %; вклад промышленных аэрозолей, по-видимому, не превышает 5 %. Исходя из принципа (по В.И. Вернадскому), что многолетние систематические наблюдения за любыми явлениями природы имеют самостоятельную ценность, приводим ранее установленную и несколько уточнённую обобщающую характеристику. Настоящая работа включает 4 (из 19 имеющихся) метеорологические станции (м/с), показанных в таблице 1 и расположенных на Европейской территории по широте. Используются в основном средние за год значения. Приводятся крайние (исходные) показатели. Иногда связи между компонентами осадков проверяются по исходным измерениям. Так зависимость удельной электропроводности (проводимости) k от суммы ионов (минерализации) M получается более тесной по результатам непосредственных измерений в пробах осадков за неделю (R^2 в табл.1). Орография местности относится к важным факторам, влияющим на химический состав атмосферных осадков.

Таблица 1 – Общая характеристика станций

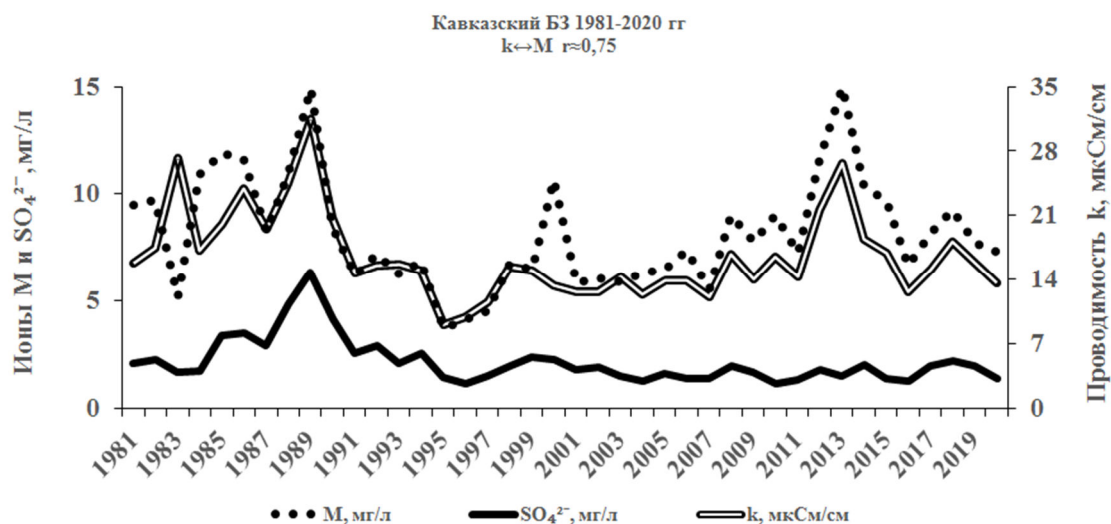
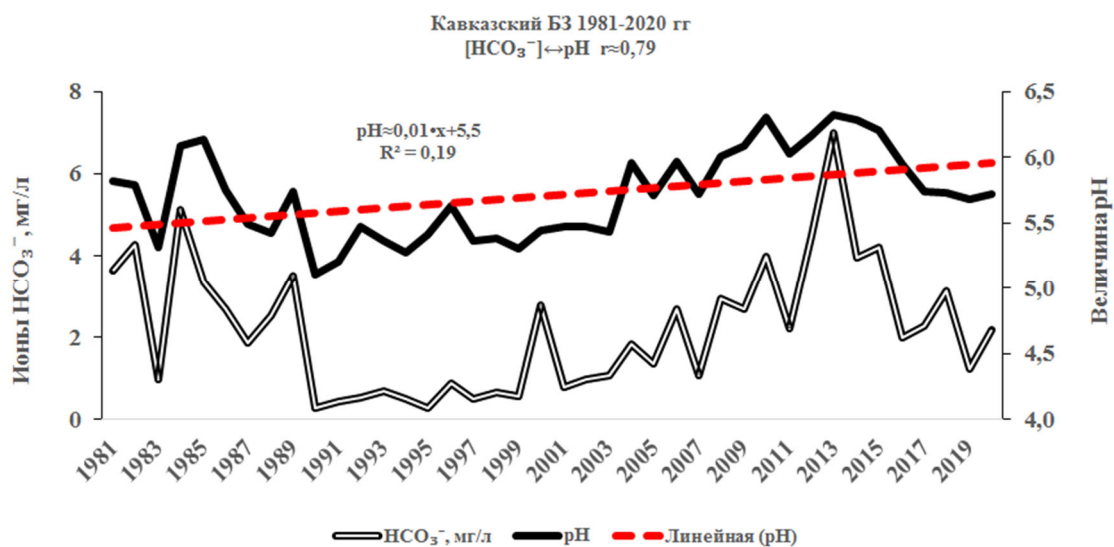
Станция	Градус		\mathcal{H} , м	Средняя за период			R^2	Т, лет
	с.ш.	в.д.		pH	M, мг/л	Связь $M \leftrightarrow k$		
Пр-Террасный*	54,9	37,8	166	5,5	7,3	$M \approx 0,4 \cdot k + 0,2$	0,91	38
Воронежский*	51,9	39,4	156	5,5	13	$M \approx 0,5 \cdot k - 0,9$	0,84	31
Кавказский*	43,7	40,2	465	5,7	8,2	$M \approx 0,4 \cdot k + 1,1$	0,56	40
Шаджатмаз	43,7	42,7	2070	6,3	17,9	$M \approx 0,6 \cdot k + 0,3$	0,88	63

*Приокско-Террасный, Воронежский, Кавказский биосферные заповедники (БЗ); R^2 – получены по исходным измерениям; \mathcal{H} – высота над уровнем моря, м; Т – период наблюдений, число лет; R^2 – коэффициент детерминации, который получается путем простого возведения в квадрат коэффициента корреляции (r в формуле $M \approx r \cdot k + c$).

Кавказский БЗ

Таблица 2 – Описательная статистика средних за год и крайних значений на м/с Кавказский БЗ, 1981–2020 гг.

Параметры	q, мм	M, мг/л	pH	k, мкСм/см
Среднее	1971	8,2	5,7	16,6
Стандартная ошибка	57,1	0,4	0,1	0,8
Медиана	1934	7,6	5,7	15,5
Мода	—	—	5,4	13,8
Стандартное отклонение	360,8	2,8	0,3	4,8
Дисперсия выборки	—	7,6	0,1	23,1
Экцесс	-0,7	1,3	-1,0	1,6
Асимметричность	0,0	1,0	0,2	1,3
Интервал	1397	12,9	1,2	22,4
Минимум	1302	3,7	5,1	9,1
Максимум	2699	16,6	6,3	31,5
Счет	40	40	40	40
Уровень надежности 95 %	115,4	0,9	0,1	1,5

Рисунок 1 – Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Кавказский БЗ.Рисунок 2 – Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Кавказский БЗ

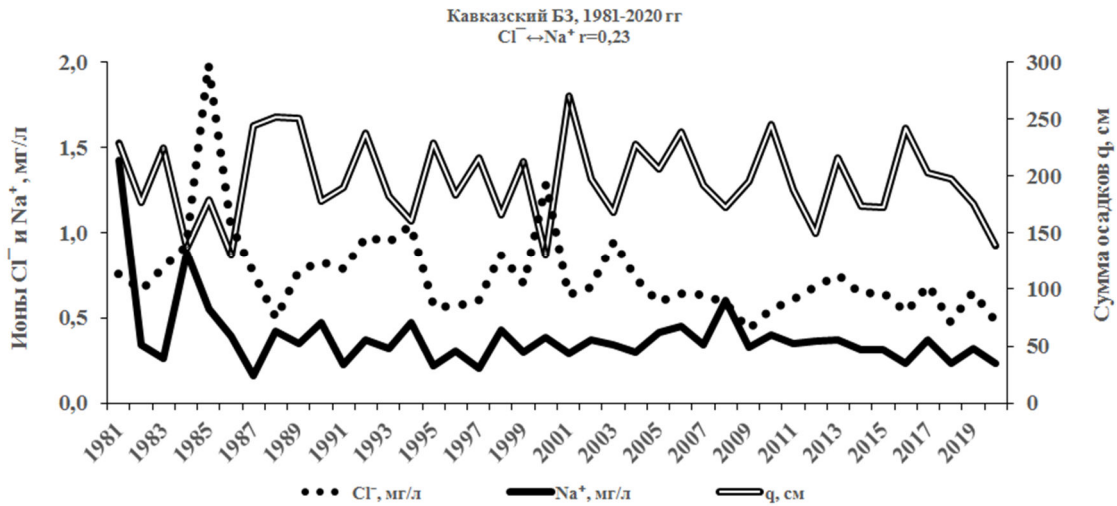


Рисунок 3 – Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Кавказский БЗ.

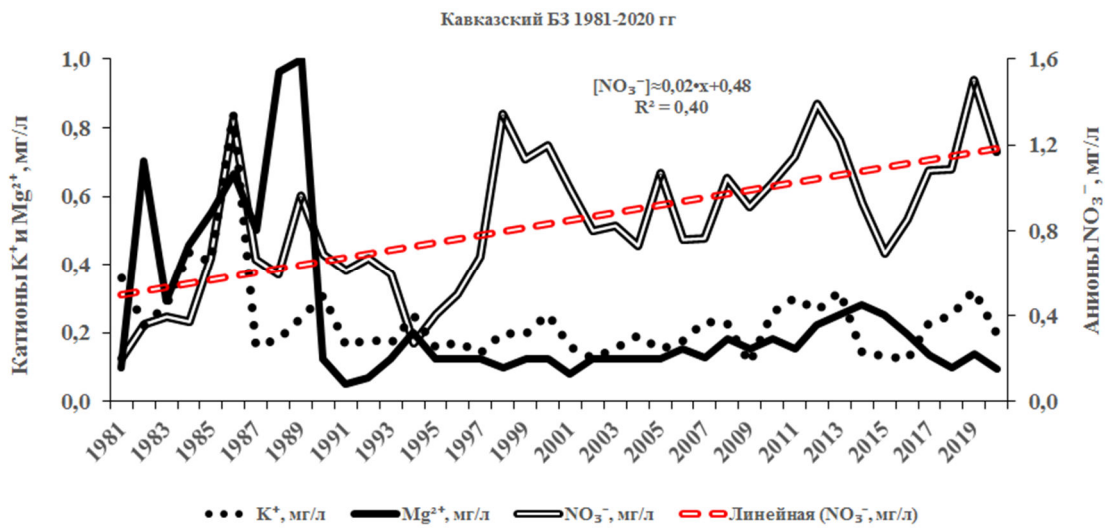


Рисунок 4 – Временные изменения в осадках концентрации нитрат-иона NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Кавказский БЗ

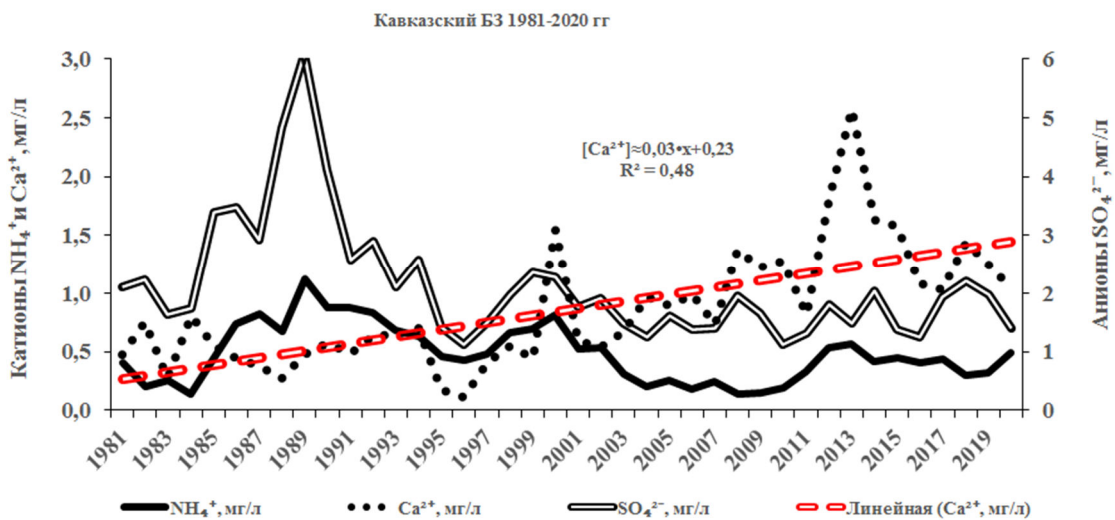


Рисунок 5 – Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Кавказский БЗ

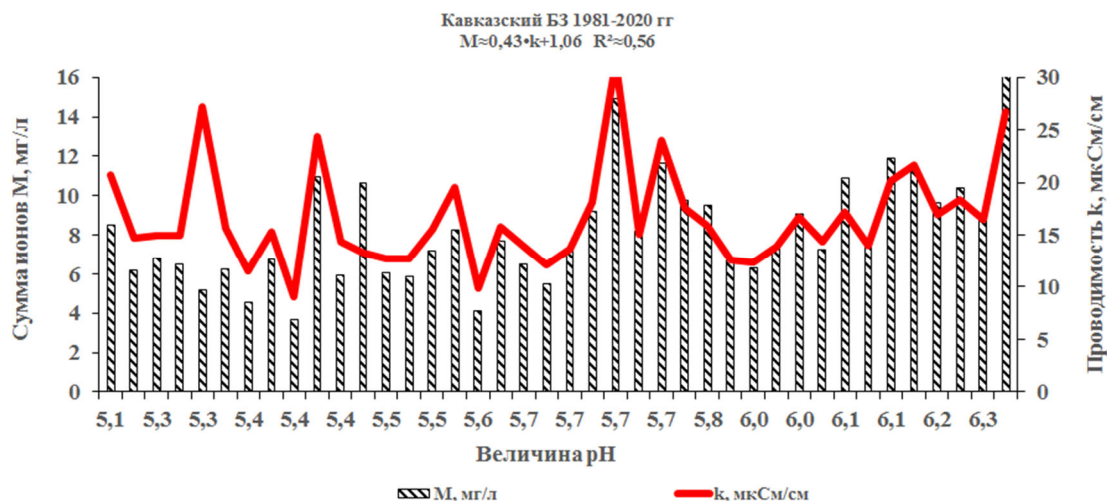


Рисунок 6 – Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной pH и проводимостью к на м/с Кавказский БЗ

Воронежский БЗ

Таблица 3 – Описательная статистика средних за год и крайних значений на м/с Воронежский БЗ, 1981–2020 гг.

Параметры	q, мм	М, мг/л	pH	к, мкСм/см
Среднее	560,4	13,0	5,5	26,7
Стандартная ошибка	18,6	1,0	0,1	1,7
Медиана	578,3	11,6	5,5	24,7
Мода	—	—	4,9	—
Стандартное отклонение	103,5	5,4	0,4	9,5
Дисперсия выборки	10712	29,1	0,2	90,4
Экссесс	-1,1	6,1	-1,0	3,1
Асимметричность	-0,2	2,3	-0,2	1,7
Интервал	354,5	25,1	1,7	40,6
Минимум	378,3	8,0	4,6	15,8
Максимум	732,8	33,1	6,3	56,3
Счет	31	31	31	31
Уровень надежности 95 %	38,0	2,0	0,2	3,5

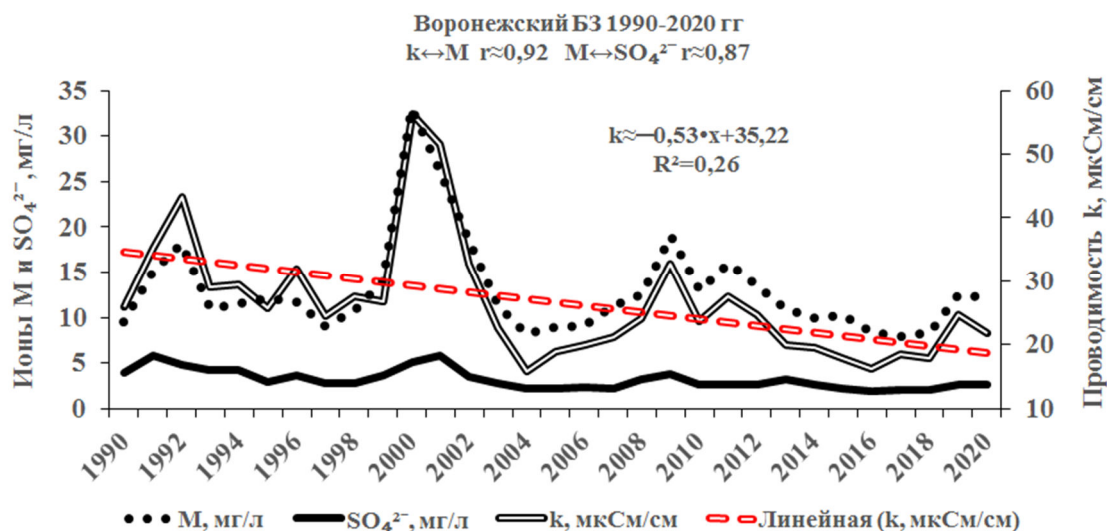


Рисунок 7 – Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации М и проводимости к осадков на м/с Воронежский БЗ

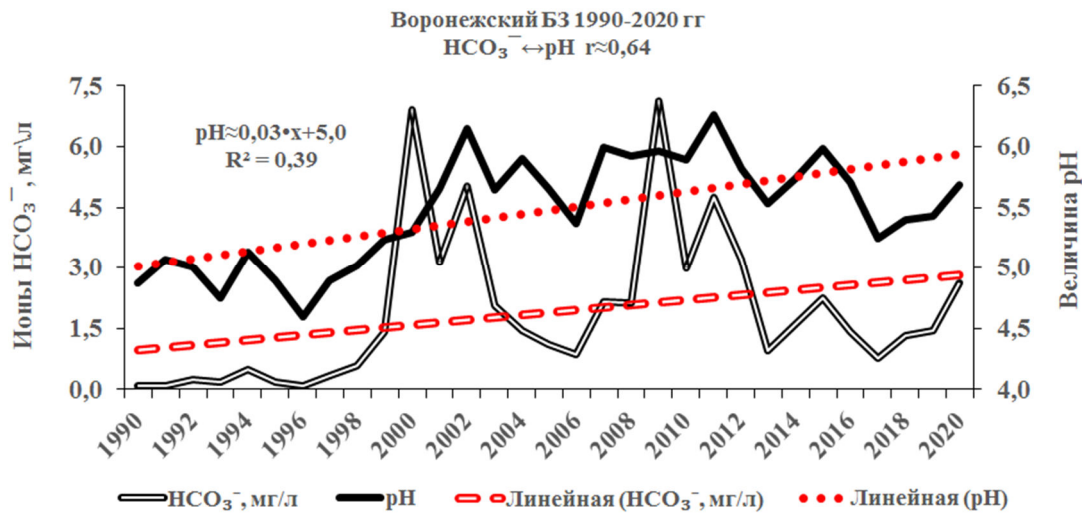


Рисунок 8 – Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Воронежский БЗ

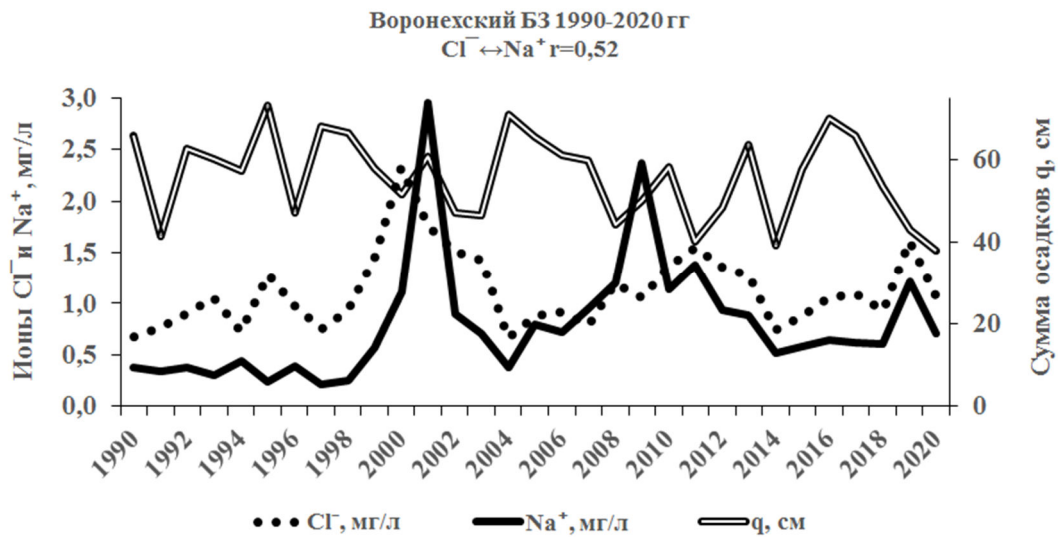


Рисунок 9 – Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Воронежский БЗ

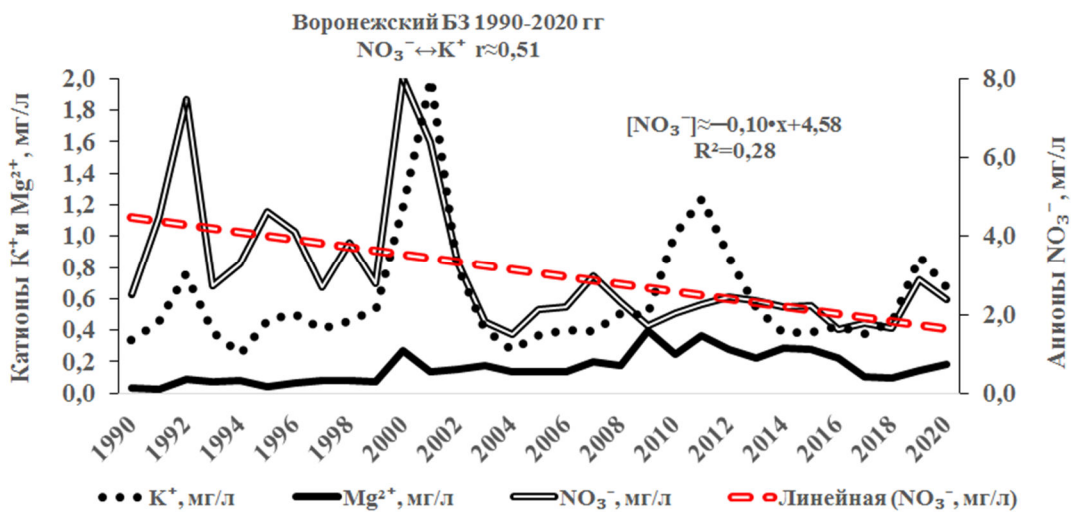


Рисунок 10 – Временные изменения в осадках концентрации нитрат-иона NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Воронежский БЗ

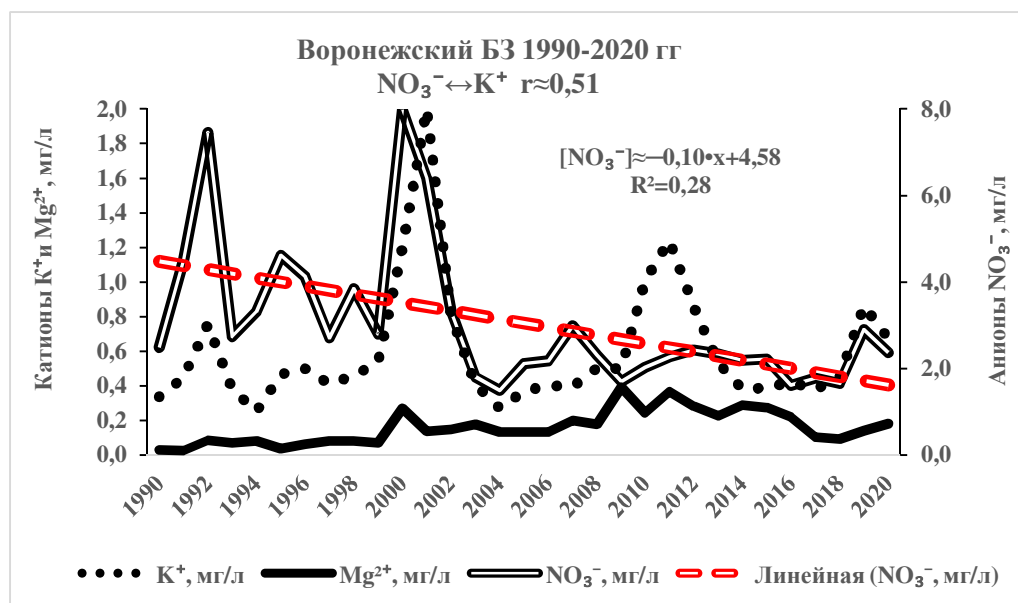


Рисунок 11 – Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Воронежский БЗ

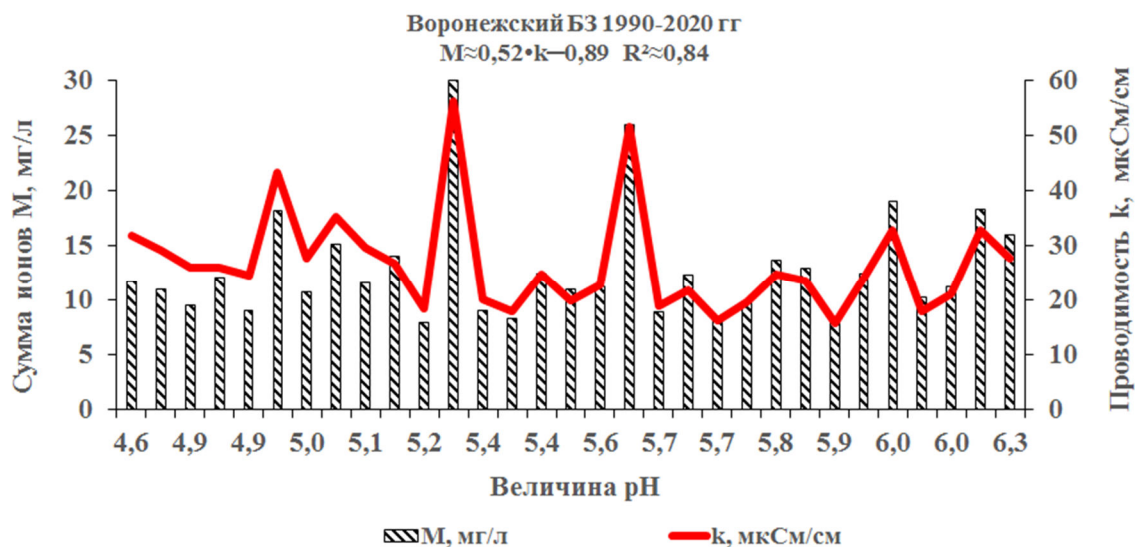


Рисунок 12 – Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M, величиной pH и проводимостью k на м/с Воронежский БЗ

Заключение

Общие химические характеристики атмосферных осадков минерализация M, величина pH, проводимость k тесно взаимно связаны и подвергаются постоянному влиянию других не измеренных компонентов воздуха и аэрозолей. Наиболее вероятная величина pH фоновых осадков образуется и поддерживается карбонатной системой воздуха. При этом вначале в растворе образуется гидрат $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, который обратимо медленно превращается в H_2CO_3 . Большая часть растворенного в осадках диоксида углерода находится в виде гидрата. Образующаяся H_2CO_3 диссоциирует до гидрокарбонат-аниона, а в более щелочной среде — до карбонат-иона. Устанавливается равновесие:



Угольная кислота существует только в растворе. Совокупность H_2CO_3 и гидрокарбонат-иона образует гидрокарбонатную буферную систему, которая при современном уровне концентрации диоксида углерода поддерживает величину pH осадков около 5,7.

Повышение в воздухе уровня концентрации CO_2 в 10 раз увеличит кислотность осадков до 5,0–5,2 ед. рН. Разрушают эту систему, также соединения углерода, слабые кислоты (вероятно, метановая и уксусная), постоянно присутствующие в атмосфере и хорошо растворимые в осадках. Метановая (HCOOH) и уксусная (CH_3COOH) кислоты со своими солями образуют свою более кислую буферную систему (3,2–3,8 ед. рН). Гидрокарбонат-ионы оказываются единственными соединениями, которые принимают нулевые значения (ниже предела обнаружения) при постоянном присутствии заметного количества в атмосфере источников его образования — паров воды, диоксида углерода (IV) и карбонатной пыли. Карбонат- и гидрокарбонат-ионы, а также соединения типа $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{CO}_2$ распадаются и равновесие осадки $\text{H}_2\text{O}\leftrightarrow\text{CO}_2$ воздуха нарушается. Все ионы, которые присутствуют в атмосферных осадках ниже или выше изолинии 5,7 по диаграмме гидролиза солей фактически действуют соответственно в качестве кислот или оснований различной силы. Значению рН = 7,0 соответствует нейтральная среда.

1. Минимальные природные показатели общих химических характеристик атмосферных осадков по исходным измерениям на территории РФ имеют значения: сумма ионов $M = 0,6$ мг/л, величина рН = 3,2 и эквивалентная электропроводность (проводимость) $k = 3$ мкСм/см. Все показатели относятся к различным станциям и разным пробам осадков, собранных в течение месяца, недели или суток. Максимальные значения по всем станциям РФ иногда превышают показатели грунтовой и поверхностной воды. Абсолютный максимум в Норильске достигает: $M = 490$ мг/л; величина рН = 8,5 и $k = 1290$ мкСм/см.

2. Выпадающие осадки по величине показателей всегда отличаются от осадков, собранных за месяц, неделю, сутки или выдержанных в течение нескольких суток, поэтому средние за год показатели уменьшаются, возрастают или остаются неизменными со временем. Во многих случаях динамика хода временных изменений исходных и среднегодовых значений различаются.

3. Полезность ХСО относится скорее к проблемам биологии земных микроорганизмов, а вредность их химического состава для человека определяются микропримесями радиоактивных веществ, органических кислот и оснований, тяжелыми металлами, бактериями и вирусами [5].

Список литературы:

1. Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 208 с.
2. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Адаптация России к изменению климата: концепция национального плана // Труды ГГО. – 2017. – Вып. 586. – С. 7–20.
3. Свистов П.Ф., Семенец Е.С., Павлова М.Т. Химия атмосферных осадков: 60 лет регулярных наблюдений // Природа. – 2018. – № 8. – С. 51–57.
4. Атлас диаграмм химического состава атмосферных осадков Заполярья (сектор Российской Федерации) / П.Ф. Свистов [и др.]. – СПб. : Изд. ЛЕМА, 2018. – 116 с.
5. Янковский О.Ю. Токсичность кислорода и биологические системы (эволюционные, экологические и медико-биологические аспекты). – СПб. : Изд. «Игра», 2000. – 294 с.

УДК 622.276.72

**МЕТОДЫ БОРЬБЫ С СОЛЕОТЛОЖЕНИЯМИ
И АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН
В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ****Сисюкина
Евгения Владимировна****Кубанский государственный технологический университет**
студентка
zhenya.sisyukina@icloud.com**Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Антониади
Дмитрий Георгиевич****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
dg@antoniadi.com

Аннотация. Для нормальной эксплуатации скважин и поддержания технологического режима их работы необходимы периодические обследования состояния забоев и поддержание заданных дебитов газа и конденсата. Основные причины уменьшения дебитов газовых скважин в процессе их эксплуатации – разрушение пласта и образование песчаных пробок на забое, обводнение скважин вследствие проникновения на забой контурных или подошвенных вод, накопление конденсата в призабойной зоне и на забое, разбухание глинистого материала в призабойной зоне вследствие его контакта с конденсационной и пластовой водой и уменьшение проницаемости призабойной зоны, закупорка части перфорационных отверстий в процессе эксплуатации, а так же солеотложение, асфальтосмолопарафиновые отложения.

Ключевые слова: скважина, отложения, солеотложение, асфальтосмолопарафиновые отложения, коррозия, нефть.

Введение. Подземное и наземное нефтепромысловое оборудование в процессе их использования подвергаются солеотложению и асфальтосмолопарафиновыми отложениям (АСПО). Отложение солей и АСПО происходит как в призабойной зоне пласта, так и на стенках погружного оборудования, вследствие высокой концентрации ионов соли, парафинов ионов металла, а также благоприятными для данных процессов условий рабочей среды. Солеотложения и АСПО наносят большой материальный ущерб. Они приводят к преждевременному износу оборудования, сокращают межремонтные сроки установок, вызывают дополнительные трудности при добыче. Цель работы – провести анализ перспективных методов борьбы с солеотложениями, асфальтосмолопарафиновыми отложениями и выбрать наиболее приемлемый и эффективный. В статье приведены общие сведения о процессе эксплуатации нефтяных и газовых скважин в осложненных условиях, рассмотрено решение использования наилучшего метода борьбы с солеотложениями, асфальтосмолопарафиновыми отложениями, сделаны выводы об эффективности их применения.

Методология. К осложненным условиям относятся те, которые приводят к уменьшению коэффициента полезного действия технологических процессов и используемого оборудования в нефтедобыче.

Главным источником выделения солей является вода, добываемая совместно с нефтью. Для полного представления о причинах и условиях солеобразования в процессе добычи нефти важно знать гидрохимические закономерности изменения вод.

Наиболее характерным осложнением при этом является выпадение гипса, барита и кальцита. Процессу солеотложения подвержены скважины и наземное оборудование, используемых в условиях обводнения добываемой продукции.

Основное условие солеотложения – это образование перенасыщенных растворов попутной воды. Причинами выпадения солей в осадок служат следующие процессы: смешение несовместимых вод, изменение общей минерализации воды, растворение горных пород и газов, испарение, дегазация воды. В практике известны механические и химические методы удаления отложений неорганических солей. Механический метод весьма трудоемок, что ограничивает его применение на практике.

Наиболее действенным методом предотвращения солеобразования в нефтепромысловом оборудовании является химический, где для предотвращения образования солей применяются реагенты-ингибиторы.

В качестве ингибиторов для защиты скважин и трубопроводов от солеотложения рекомендуются реагенты в следующих эффективных дозировках (г/м^3 попутнодобываемой воды):

- Descum 2D-3611C не менее 20;
- Ипроден С-1 не менее 20;
- Акватек 511М 20 – 30.

Для предупреждения солеотложений применяют также погружные контейнеры-дозаторы, закачку ингибиторов в пласт с нагнетаемой для поддержания пластового давления водой, периодическую закачку ингибиторов в призабойную зону, ступени ЭЦН с пониженной скоростью солеотложения.

Помимо солеотложения парафинизация технологического оборудования также является одной из актуальных проблем в нефтедобывающей промышленности.

Выпадение асфальтосмолопарафиновых веществ (АСПВ) в эксплуатационных скважинах и наземных коммуникациях приводит к снижению дебита добывающих скважин, пропускной способности нефтепроводных коммуникаций и другим неприятным последствиям. Основным требованием, характеризующим выпадение АСПВ, является температура насыщения нефти парафином. На выпадение парафина из нефти влияет содержание растворенного газа, которое в нефти изменяется от максимального значения, при давлении насыщения нефти газом, до минимального на устье скважины, где температура насыщения нефти парафином максимальная.

Нефти классифицируют в зависимости от содержания парафина на:

- малопарафиновые – менее 1,5 % масс.;
- парафиновые – от 1,5 до 6 % масс.;
- высокопарафиновые – более 6 % масс.

Следует заметить, что образование парафина из нефти обратимый процесс. Если при кратковременном понижении температуры ниже температуры насыщения нефти парафином ($t_{\text{нп}}$) имеет место образование твердой фазы парафина в объеме нефти, то последующее повышение температуры нефти позволит растворить твердый парафин в нефти за короткое время.

Наиболее действенным методом предотвращения выпадения асфальтосмолопарафиновых веществ в нефтепромысловом оборудовании является применение промывки горячей нефтью с растворенным ингибитором парафиноотложения.

Введение в состав горячей нефти 0,5–1,0 % ингибитора парафиноотложения позволяет повысить отмывающую способность раствора и предотвратить повторное осаждение парафина из остывающей нефти. Технологическая эффективность ингибиторов достигается при дозировке их в нефть в расчете 200–300 г на 1 т нефти.

Объем закачиваемого ингибитора в скважину для одноразовой обработки рассчитывается с учетом общего количества нефти в затрубном пространстве и в трубах и должен составлять не менее 5 и не более 8 % от суммарного количества нефти. С целью экономии, одним из методов борьбы с парафином является минимальное, а иногда и сверхточное использование реагента, поэтому блоки его подачи оснащаются дозировочными насосами. Данным оборудованием можно обеспечить любую скважину, независимо от ее назначения, а также использовать ингибиторы с разными физико-техническими свойствами.

Для предотвращения отложений АСПВ в скважинном оборудовании рекомендуется применение ингибиторов:

- СНПХ-2005,
- ПМА Д-210,
- ФЛЭК ИП1007,
- ХПП-007.

Обсуждение. За период 1959–2022 гг. запатентовано огромное количество заявок на различные материалы, конструкции средств предотвращения солеотложений и асфальтосмолопарафиновых отложений. Из этого количества большая часть приходится на работы, связанные с применением химических соединений.

Среди методов и способов предотвращения отложения карбоната кальция в нефтепромысловом оборудовании рекомендуется применение технологических и химических способов.

Значительный эффект по снижению интенсивности отложения солей дает изоляция обводнившихся пропластков продуктивного пласта, поскольку при сокращении притока воды, перенасыщенной солями, уменьшается и интенсивность отложения солей. Одним из способов увеличения работоспособности оборудования в условиях солеотложения является применение различных покрытий поверхности, соприкасающейся с какой-либо жидкостью. Применяются покрытия стеклом, эмалями, лаками.

В мировой практике для защиты от солеотложения призабойной зоны пласта добывающих скважин, в особенности, в условиях глушения скважин в процессе ремонта тяжелыми хлоркальциевыми растворами рекомендуются технологии внедрения ингибитора в пласт и закачка ингибитора в систему месторождения. Для защиты от солеотложения насосного оборудования преимущественно использование дозирования ингибитора в затрубное пространство скважины с помощью наземных дозирующих устройств, периодического дозирования в затруб, задавливания ингибитора в пласт с периодическим подливом в затрубное пространство, погружных скважинных контейнер-дозаторов с ингибиторной композицией.

Технология внедрения ингибитора солеотложения в призабойную зону пласта заключается в закачивании пачки ингибитора в предварительно подготовленную призабойную зону пласта, где он адсорбируется и удерживается на поверхности породы. Технология состоит из 3 этапов:

- 1) этап предварительной подготовки пласта;
- 2) этап закачки основного объема ингибитора солеотложения;
- 3) этап закачки объема раствора ингибитора в пласт.

Анализ показал, что наиболее экономически целесообразна технология закачивания ингибитора солеотложения в пласт для скважин низкой и средней обводненности, а с увеличением обводненности добываемой продукции более эффективна технология постоянного дозирования через капиллярную трубку. Для реализации технологий предупреждения солевых отложений был проанализировано определенное количество ингибиторов солеотложения и реагентов комплексного действия.

Были определены основные физико-химические показатели ингибиторов солеотложения и реагентов комплексного действия. По физико-химическим свойствам ингибиторы солеотложения и реагенты комплексного действия, в целом, удовлетворяют требованиям. Технология закачки ингибитора в пласт в осложненных условиях эксплуатации очень эффективна.

Интенсивность образования асфальтосмолопарафиновыми отложениями зависит от природы и состояния поверхности оборудования. Наличие неровностей, незначительные царапины способствует формированию и значительному росту отложений. Применение специальных защитных покрытий металла позволяет добиться гладкой поверхности и повысить ее гидрофильность, что существенно снижает сцепление кристаллов парафина. В качестве таких покрытий используют лакокрасочные материалы (этилен и лаки, эпоксидные смолы), эмали, пластмассы и полимерные материалы.

Тепловые методы борьбы с АСПО строятся на поддержании температуры потока нефти с использованием специальных нагревательных кабелей. Во время работы кабель нагревает подъемную трубу по внешней или внутренней поверхности, которая, в свою очередь, нагревает жидкость, проходящую через трубопровод до температуры, близкой или превышающей температуру осаждения. Этот метод приемлем только для

удаления уже имеющихся отложений при условии расчета тока нагрева и времени конкретно для того, чтобы расплавить отложения на стенках труб. Основная проблема при эксплуатации нагревательных кабелей – это выходы из строя брони кабеля в ходе некоторых операций во время капитального ремонта.

Физические методы воздействия на нефть приводят к разрушению структуры нефтяных ассоциатов, сформированных парафиновыми углеводородами, что позволяет улучшить низкотемпературные свойства и уменьшает выпадение парафинов. Физические методы довольно узко применяются на промысле из-за сложности подбора оптимальных условий проведения обработки и не всегда подтвержденным эффектом этих методов.

Наиболее широко изученным и применяемым методом является использование специальных химических реагентов. Основным преимуществом использования химических реагентов является улучшение свойств нефти и ее устойчивость к образованию отложений на протяжении всего пути от дна скважины.

Общим недостатком почти всех применяемых для удаления АСПО методов является избирательность расширения, как правило, они не обеспечивают достаточной эффективности растворения при высоких концентрациях парафинов. Поэтому поиск новых реагентов, ингибиторов и удалителей асфальтосмолопарафиновых веществ остается актуальным.

Выводы. В статье был рассмотрен процесс солеотложения и асфальтосмолопарафиновых отложений которым подвергается подземное и наземное нефтепромысловое оборудование в процессе эксплуатации.

Цель была достигнута путем реализации следующих задач:

- изучение общих сведений о процессе солеотложения; асфальтосмолопарафиновых отложений;
- рассмотрение причин их возникновения;
- оценка существующих способов защиты от солей и асфальтосмолопарафиновых отложений;
- предложение решения использования оптимального метода борьбы с солеотложениями и асфальтосмолопарафиновых отложениями.

Выявлены причины солеотложений, асфальтосмолопарафиновых отложений, которым подвергаются призабойная зона пласта и погружное насосное оборудование при длительной эксплуатации, а также способы с солеотложениями и АСПО.

Также в статье показано, что технология закачки ингибитора в пласт наиболее эффективна.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.

9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 C1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. редактор С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.
19. Эксплуатация скважин в осложненных условиях / С.С. Алескерев [и др.]. – М. : Недра, 1971. – 200 с.
20. Осложнения в нефтедобыче / Н.Г. Ибрагимов [и др.]; Под. ред. Н.Г. Ибрагимова, Е.И. Ишемгужина. – Уфа : Издательство научно-технической литературы «Монография», 2003. – 302 с.
21. Маркелов Д.В. Борьба с осложнениями в механизированной добыче нефти // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2005. – № 2. – С. 30–35.
22. Тронов В.П. Механизм образования смолпарафиновых отложений и борьба с ними. – М. : Недра, 1969. – 192 с.
23. Мальцев А.П., Сабиров А.А., Соколов Н.Н. Опыт внедрения оборудования для подачи реагентов в призабойную зону скважины при борьбе с АСПО // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2006. – № 2. – С. 60–62.
24. Технологии предотвращения солеотложения в скважинном оборудовании / В. Рагулин [и др.] // Технологии ТЭК. – 2004. – № 4 (17). – С. 28–31.
25. Гарифуллин И.Ш. Применение специальных погружных капиллярных устройств для предупреждения осложнений в скважине // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2008. – № 8. – С. 34–41.
26. Глущенко В.Н., Силин В.Н., Герин Ю.Г. Предупреждение и устранение асфальтосмолопарафиновых отложений. – М. : Интерконтакт : Наука, 2009. – 475 с.
27. Смолянец А.Г., Телин А.Г., Мамлеева Л.А. Выбор реагентов для борьбы с отложениями в добыче нефти по результатам лабораторного тестирования // Нефтепромысловое дело. – 1995. – № 74. – 77 с.

УДК 622.276.8

**ВИДЫ ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПО ПЕРВИЧНОЙ ПОДГОТОВКЕ НЕФТИ****Сузин
Кирилл
Константинович****Кубанский государственный технологический университет**
студент
suzin1162@gmail.com**Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Очередыко
Татьяна Борисовна****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат химических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела

Аннотация. Завышенное содержание в товарной нефти хлористых солей, воды и механических примесей способствует более интенсивному коррозионному износу оснащения перекачивающих станций трубопроводов и аппаратов нефтеперерабатывающих заводов, понижает пропускную способность трубопроводов. Подготовка нефти на месторождении заключается в удалении механических примесей, воды, и газообразных углеводородов.

Ключевые слова: эмульсия, сепарация, пластовая вода, обезвоживание, обессоливание.

Введение. Пластовая вода сформирует с нефтью эмульсии разной степени стойкости, и со временем происходит старение эмульсии, стойкость эмульсий в соответствии с этим увеличивается. Под процессом старения понимают упрочнение пленки эмульгатора с течением времени. Процесс старения эмульсии имеет возможность протекать быстро или медленно от нескольких часов до 2–5 дней. В начальных стадиях данный процесс идет довольно активно, но по мере насыщения поверхностного слоя глобул эмульгаторами замедляется или, даже прекращается. По истечению конкретного времени пленки вокруг глобул делаются довольно крепкими и непрочто поддаются разрушению.

Это считается одной из главных причин того, что добытую нефть нужно обезвоживать как возможно скорее с этапа образования эмульсии, не допускать ее старения.

Второй, более необходимой причиной обезвоживания нефти в районах ее добычи считается высочайшая цена транспортировки балласта пластовой воды. Транспортировка обезвоженной нефти удорожается не только в итоге перекачки дополнительных объемов содержащейся в нефти пластовой воды, но и вследствие того, собственно, что вязкость эмульсии типа вода в нефти выше, чем чистой нефти. При повышении содержания воды в нефти на 1 % транспортные затраты возрастают в среднем на 3–5 % при каждой перекачке.

Виды применяемых технологических процессов по первичной подготовке нефти

Сепарация. Схема сбора и подготовки зависит от площади месторождения, дебитов скважин, физико-химических эмульсии. Так, в одних случаях продукция разделяется на АГЗУ на обводненную и безводную, а в иных она транспортируется после АГЗУ по единому коллектору. На некоторых месторождениях к ДНС подходят коллекторы от нескольких АГЗУ, на других на каждой АГЗУ установлен сепаратор первой ступени, и жидкость транспортируется на ЦППН или дожимными насосами, или за счет давления в линии. На маленьких месторождениях АГЗУ и ЦППН как правило располагаются на одной территории.

Первая ступень сепарации выполняется на ДНС, где газ отводится по отдельному коллектору. Кроме того, может проводиться предварительный сброс воды с закачкой ее в нагнетательные или поглощающие скважины, а вторая – на ЦППН.

На УПСВ эмульсия проходит последовательно две ступени сепарации.

Перед первой ступенью сепарации в жидкость подается реагент – деэмульгатор. Газ с обеих ступеней сепарации подается на узел осушки газа, а затем потребителю или на ГПЗ. Жидкость со второй ступени сепарации поступает в резервуарный парк, где происходит частичное отделение механических примесей и предварительный сброс воды с подачей ее на блочную кустовую насосную станцию (БКНС) для закачки в пласт. На БКНС выполняется подготовка, учет и закачка воды по направлениям на водораспределительные батареи (ВРБ). С ВРБ вода подается на нагнетательные скважины. Впоследствии ДНС или же УПСВ нефть поступает на подготовку.

Технологические процессы подготовки нефти проводятся на установке подготовки нефти (УПН) или центральном пункте подготовки нефти (ЦППН), и включают в себя следующие процессы:

- сепарация (1, 2 ступень) и разделение фаз;
- обезвоживание продукции;
- обессоливание;
- стабилизация нефти.

На УПН (ЦППН) жидкость поступает на узел сепарации. Впоследствии сепарации жидкость направляется в печи для обогрева эмульсии с реагентом. Грется до 50 °С и поступает в отстойники, где происходит деление эмульсии на нефть и воду. Вода сбрасывается в очистные резервуары, где осуществляется гравитационный отстой остаточных нефтепродуктов, содержащихся в воде, и дальше посылается на БКНС. Нефть из отстойников направляется в технологические резервуары, где происходит последующее отделение воды от нефти.

Нефть с содержанием воды до 10 % с установок предварительного сброса воды насосами ДНС подается на установки подготовки нефти (УПН) в печи-нагреватели ПТБ-10. В поток нефти, на прием насосов подается дозируемый расход реагента – деэмульгатора в количестве до 20 г/т. Нагрев в печах выполняется до 45–50 °С, в результате чего нефть поступает в электродегидраторы, где случается обезвоживание и обессоливание нефти. Нефть, с содержанием воды до 1 % и температурой 44–49 °С поступает в сепараторы «горячей сепарации» для последующего разгазирования (стабилизации), оттуда поступает в товарные резервуары РВС.

Нефтяные резервуары представляют собой емкости, предназначенные для скопления, кратковременного хранения и учета сырой и товарной нефти. Наибольшее использование нашли резервуары типа РВС (резервуар вертикальный стальной). Товарная нефть проходит проверку качества с помощью лабораторных методов и подается насосами ДНС через узел учета нефти (УУН) на нефтеперекачивающую станцию (НПС). С НПС нефть подается в магистральный нефтепровод, а затем для окончательной переработки на нефтеперерабатывающий завод (НПЗ).

Обезвоживание и обессоливание. Нефть отделяется от воды и солей дважды: первый раз на площади нефтяного месторождения, где на установках подготовки нефти из нее извлекают ведущую массу воды и доводят содержание ее от 0,2 до 0,8 вес. % и второй раз – на нефтеперерабатывающих заводах, где из нефти убирают воду, а содержание солей доводят до 2–5 мг/л.

Для обезвоживания и обессоливания нефти непосредственно на месторождении используют следующие технологические процессы (рис. 1): гравитационный отстой нефти; горячий отстой нефти; термохимические методы; электрообессоливание и электрообезвоживание нефти.

Наиболее простой по технологии процесс гравитационного отстоя. В данном случае нефтью заполняют резервуары и выдерживают определенное время (48 ч и более). Во время пребывания нефти происходит коагуляция капель воды, и более тяжелые и крупные капли воды под гравитационными силами оседают на дно в виде подтоварной воды.

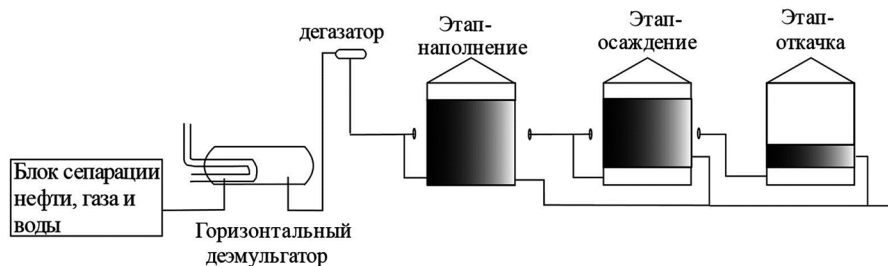


Рисунок 1 – Этапы обезвоживания нефти

Впрочем отстой под действием сил тяжести холодной нефти – малоэффективный и малоцелесообразный способ обезвоживания нефти, в следствии этого используется отстой, горячей нефти, когда за счет предварительного нагрева нефти до температуры 40–80 °С существенно облегчаются процессы укрупнения капель воды и ускоряется обезвоживание нефти при гравитационном отстое.

Дефектом гравитационных способов обезвоживания считается их небольшая эффективность. К тому же водонефтяные эмульсии считаются очень стойкими и в большинстве случаев не расслаиваются под действием одной только силы тяжести. Наиболее эффективные термохимические и химические методы, а также электрообезвоживание и обессоливание.

На электрообессоливающих установках, процесс проводится при небольшом количестве времени нахождения нефти в аппарате и где для достижения высокой степени обессоливания требуется обеспечение большой глубины обезвоживания нефти, комбинируют термохимический способ с электрическим, сочетая четыре фактора воздействия на эмульсию: подогрев, подачу деэмульгатора, электрическое поле и отстой в гравитационном поле.

При химических методах в обезвоженную нефть добавляют деэмульгаторы. В качестве деэмульгаторов применяют поверхностно активные вещества. Деэмульгаторы добавляют к нефти в малых дозах от 5–10 до 50–70 г на одну тонну нефти. Самые лучшие результаты показывают неионогенные поверхностно активные вещества, которые в нефти не распадаются на катионы и анионы. Это такие вещества, как дипроксиллины, сепаролы, дисолваны, и др. Деэмульгаторы адсорбируются на поверхности раздела фаз «нефть-вода» и выталкивают или заменяют менее поверхностноактивные природные эмульгаторы, присутствующие в эмульсии.

Пленка, образующаяся на поверхности капель воды, непрочная, что влияет на слияние мелких капель в большие, то есть процесс коалесценции. Скорость и эффективность химического обезвоживания существенно возрастает за счет подогрева нефти, т.е. при термохимических способах, за счет снижения вязкости нефти при нагреве и облегчения процесса коалесценции капель воды.

Наиболее низкое остаточное содержание воды достигается при применении электрических способов обезвоживания и обессоливания. Электрообезвоживание и электрообессоливание нефти связаны с пропусканием нефти через аппараты – электродегидраторы, где нефть протекает между создающими электрическое поле электродами, высокого напряжения (30–40 кВ). Для того что бы увеличить скорость электрообезвоживания нефть сначала подогревают до температуры 40–80 °С.

Выводы

Среди основных технологических процессов по первичной подготовке нефти выделяют сепарацию, обезвоживание и обессоливание. Основной целью подготовки сырой нефти является получение нефти соответствующей российским стандартам для перекачки через систему магистральных трубопроводов и последующей переработки.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.

2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескоаний горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. редактор С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.
19. Гилаев Г.Г., Сузин К.К. Повышение эффективности добычи высоковязких нефтей путём установки электроприводных винтовых насосов (УЭВН) // Технические и технологические системы : материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 295–305.

20. Гилаев Г.Г., Сузин К.К. Свойства водонефтяных эмульсий и способы предотвращения их образования в скважине // Технические и технологические системы : материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 306–313.

21. Гилаев Г.Г., Сузин К.К. Эффективность интенсификации добычи нефти путём использования электротепловой обработки призабойной зоны пласта на примере боровского месторождения (УЭВН) // Технические и технологические системы : материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 314–324.

22. Гилаев Г.Г., Пашкова А.А. Повышение эффективности выработки остаточных запасов на поздних стадиях разработки методом резки боковых стволов // Технические и технологические системы : материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021, 2021. – С. 235–246.

23. Гилаев Г.Г., Пашкова А.А. Ликвидация пескопроявлений в скважинах // Технические и технологические системы : материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Краснодар, 2021. – С. 247–254.

24. Гилаев Г.Г., Пашкова А.А. Комплексный подход борьбы с солеотложениями // Технические и технологические системы : материалы двенадцатой Международной научной конференции. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 255–266.

УДК 622.276.6

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КЛК

Сыщенко Владислав Витальевич	Кубанский государственный технологический университет студент syshenkovlad2000@mail.ru
Гиладев Гани Гайсинович	Кубанский государственный технологический университет доктор технических наук, профессор кафедры нефтегазового дела gggilaev@gmail.com
Орлова Инна Олеговна	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазового дела»

Аннотация. Применимость методов, описанных в статье позволяет оптимизировать работу скважин путем уменьшения накопления жидкости на забое

Ключевые слова: газовые месторождения, КЛК, оптимизация работы скважин.

Н а сегодняшний день в нефтегазодобывающей промышленности существует ряд проблем, осложняющих добычу углеводородного сырья и способствующих последующим значительным капиталовложениям необходимым для реализации добычи скважинной продукции.

Одной из наиболее распространенных проблем осложняющих процесс эксплуатации скважин является скопление жидкости на забое скважины, которая оказывает негативное воздействие на призабойную зону пласта (ПЗП) и является причиной преждевременного вывода скважины из действующего эксплуатационного фонда.

Скопившаяся жидкость может оказывать следующее негативное влияние [4]:

– Разрушать цемент горной породыколлектора, ухудшая при этом фильтрационно-емкостные свойства ПЗП и повышая содержание механических примесей в продукции скважины, которые негативно влияют на наземное и подземное оборудование.

– Продолжительное время накопления жидкости на забое, в определенный момент может достигнуть уровня перфорационных отверстий и перекрыть их, что приведет к созданию противодействия на продуктивный пласт, которое будет возрастать с увеличением высоты столба жидкости над уровнем перфорационных отверстий, в последствии влечет за собой уменьшение величины создаваемой депрессии на продуктивной пласт. Таким образом, это приводит к уменьшению дебита газа, вплоть до полной остановки скважины.

Существует несколько технологий позволяющих осуществлять удаления жидкости из скважины:

- технологические продувки скважин;
- штанговые глубинные насосы;
- плунжерный лифт;
- газлифт;
- подача ПАВ на забой скважины;
- замена лифтовых колонн на трубы меньшего диаметра;
- эксплуатация скважин по концентрическим лифтовым колоннам.

Для определения наиболее эффективного метода была проведена оценка наиболее эффективного способа удаления жидкости из скважины (табл. 1).

Таким образом, исходя из оценки технологий удаления жидкости, наиболее эффективной является использование концентрических лифтовых колонн.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика способов удаления жидкостей с забоя газовых и газоконденсатных скважин

Процессы и условия сопровождающие внедрение технологий удаления жидкости	Технология, балл						
	Продувка скважин	ШГН	Плунжерный лифт	Газлифт	ПАВ	НКТ малого диаметра	КЛК
Необходимость в глушении и освоении скважины	3	1	1	1	3	1	3
Замена компоновки подземного скважинного оборудования	3	1	1	1	3	1	3
Оперативная адаптация к переменным промышленным условиям	1	3	3	2	1	1	3
Автоматизация и контроль технологического процесса	1	3	3	2	1	2	3
Необходимость в <u>дополнительном энерго-ресурсо снабжении</u>	1	1	1	1	1	2	2
Эксплуатация скважины с управлением параметрами работы	1	2	3	2	1	1	3
Ограничение по высоте расположения башмака НКТ относительно интервала перфорации	1	1	1	1	1	3	3
Воздействие на окружающую среду	1	2	3	2	3	3	3
Итого	12	14	16	12	14	14	23

Суть технологии заключается в следующем: концентрическим лифтом оборудуется имеющаяся скважина [20]. В колонну большего диаметра (основная лифтовая колонна) встраивается безмуфтовая труба меньшего диаметра (центральная лифтовая колонна). При накоплении жидкости в стволе скважины большую трубу перекрывают, через маленькую достигают выноса жидкости. После этого снижается гидравлическое сопротивление в стволе и газу легче подняться до поверхности. Эксплуатация скважины осуществляется одновременно по центральной и основной колоннам (рис. 1). В результате продлевается срок эксплуатации скважины, и увеличивается отбор газа.

Процесс перевода скважин на эксплуатацию с использованием концентрических лифтовых колонн заключается в следующем [21]:

1. Перед началом работ проводят комплекс исследований.
2. На основании полученных данных определяется характер поступления жидкости на забой скважины, скорость накопления жидкости, ее объем и состав.
3. Создается модель водоконденсатного притока в скважину, с использованием которой происходит подбор оптимальной глубины спуска центральной лифтовой колонны и ее диаметр.
4. Спуск центральной лифтовой колонны (ЦЛК). Спуск производится без глушения скважины, с использованием колтюбингового агрегата.

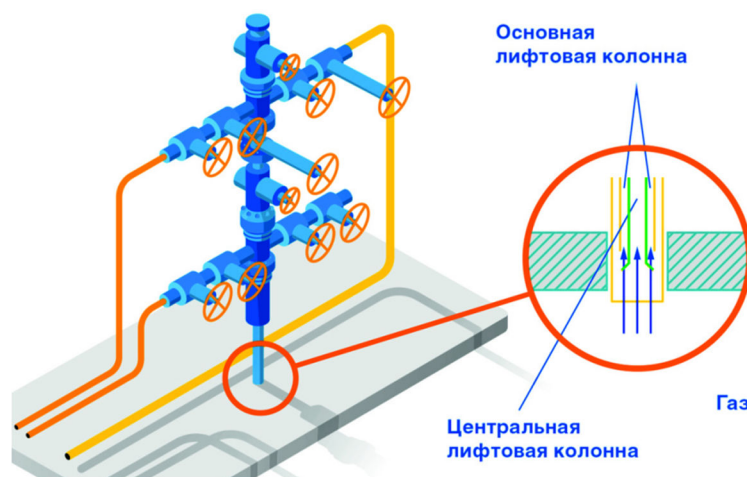


Рисунок 1 – Схематичное описание технологии КЛК

Внедрение данной технологии требует проведения комплексных исследований с целью создания модели водоконденсатного притока в скважину. От точности полученной модели зависит успешность проведения мероприятия по техническому перевооружению скважины. Кроме этого, рассчитанная компоновка центральной лифтовой колонны должна удовлетворять параметрам механической прочности, которые также определяются при помощи программного моделирования.

Внедрение данной технологии особенно эффективно на месторождениях, находящихся на поздней и завершающей стадиях разработки, ввиду увеличения фонда «самозадавливающихся» газовых и газоконденсатных скважин. Данное осложнение наблюдается на таких уникальных месторождениях, как Уренгойское и Медвежье. Поэтому в настоящее время перспективы развития технологии КЛК неразрывно связаны с её внедрением в качестве способа удаления жидкости с забоя газовых скважин.

Список литературы:

1. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
2. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
3. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескопроявлений горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
4. Валяева А.В. Поддержание пластового давления газоконденсатной залежи путем обратной закачки газа // Сборник научных трудов IX Международной научно-технической конференции студенческого отделения общества инженеров-нефтяников SPE «Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли» (28–29 мая 2015 г.). – Тюмень : Изд-во ТИУ, 2016. – 219 с.
5. , Шубина В.П., Горохова Г.А., Зарипов А.Р. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
6. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
7. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
8. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.

9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
13. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
14. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
15. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
16. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.
17. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
18. Стрелкова К.Ю., Гилаев Г.Г., Гилаев Г.Г., Решетникова Я.Н., Липатова А.Р. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
19. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
20. Результаты замены лифтовых колонн в газовых и газоконденсатных скважинах Уренгойского месторождения трубами меньшего диаметра / С.В. Мазанов [и др.] // Газовая промышленность. – 2015. – № 8. – С. 46–49.
21. Ходжаев В.В. Совершенствование технологии эксплуатации газовых скважин с наличием жидкой фазы на забое: на примере Уренгойского месторождения : дис. ... кан. техн. наук. – Уфа, 2008. – 127 с.
22. Шулятиков И.В. Разработка технологии и оборудования для удаления жидкости из скважин : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2007. – 112 с.

УДК 622.276.4

**РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПНГ,
С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO₂ В АТМОСФЕРУ****Сыщенко
Владислав Витальевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
syshenkovlad2000@mail.ru**Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Даценко
Елена Николаевна****Кубанский государственный технологический университет**
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Нефтегазового дела»

Аннотация. Применимость методов, описанных в статье позволяет избежать выбросы CO₂ в атмосферу и достичь высоких технологических результатов.

Ключевые слова: закачка газа в пласт, снижение выбросов CO₂.

Н а сегодняшний день в нефтегазовой отрасли стоит ряд непростых задач, одной из которых является снижение выбросов CO₂ в атмосферу. Данное явление в основном присуще месторождениям на которых происходит интенсивное сжигание попутного нефтяного газа (ПНГ) на факельных установках. Хотя на сегодняшний день факельные установки оборудуют множеством систем очистки, несмотря на это выбросы в атмосферу остаются колоссальными.

Потребность в использовании факельной установки возникает из экономических расчетов организации эксплуатирующей то или иное месторождение, так как в ряде случаев сжигать ПНГ дешевле чем использовать его на нужды производства.

Иной подход к рациональному использованию ПНГ является применение его для нужд производства, например, внедрение газотурбинной электростанции (ГЭ) (рис. 1), которая позволит обеспечивать электроэнергией месторождение и близлежащие населенные пункты.

Организация данного процесса может происходить следующим образом:

1. Продукция скважины направляется на пункт предварительного сброса воды (ППСВ);
2. На установке предварительного сброса воды (УПСВ) происходит отделение ПНГ и воды от нефти;
3. После УПСВ газ направляется на установку разделения ПНГ на сухой газ и широкую фракцию углеводородов (ШФЛУ);
4. ШФЛУ направляется на ГЭ.

При организации данного процесса возникает возможность использования излишек ПНГ для собственных нужд производства (сухой газ для заправки транспорта на месторождении).

Многие организации не идут на постройку газотурбинной электростанции по нескольким причинам, это огромные капиталовложения и риски не окупаемости, так как со временем запасы ПНГ истощаются и возможность эксплуатации ГЭ исчезает.

Другой альтернативой является использование ПНГ для закачки в пласт с целью увеличения КИН, в большинстве случаев применение технологий закачки в пласт различных газов показало высокие результаты [16].

Существует множество различных вариаций и комбинаций закачки в пласт газа [17] основными из которых являются следующие:

- 1) Газ (CO₂, NO₂, ПНГ);
- 2) Газ + вода.

Более подробно методы газового воздействия представлены на рисунке 2.

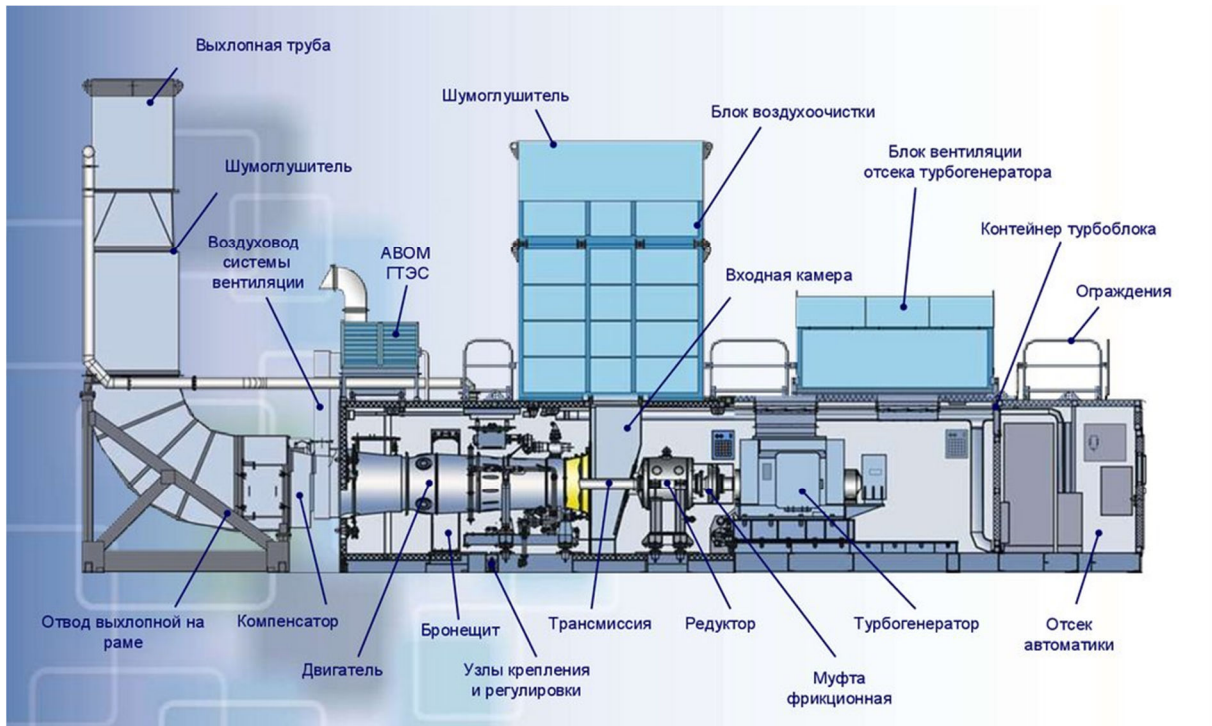


Рисунок 1 – Газотурбинная электростанция



Рисунок 2 – Варианты закачки газа в пласт

Наиболее распространённой является система, при которой в пласт закачивают газ и воду [4], так как это экономически выгодно и технологически эффективно ввиду использования преимуществ каждого из агентов.

Технология осуществления закачки в пласт нескольких агентов, в зависимости от метода закачки (попеременная, совместная, поочередная закачка) может осуществляться с помощью систем [1], показанных на рисунке 3.

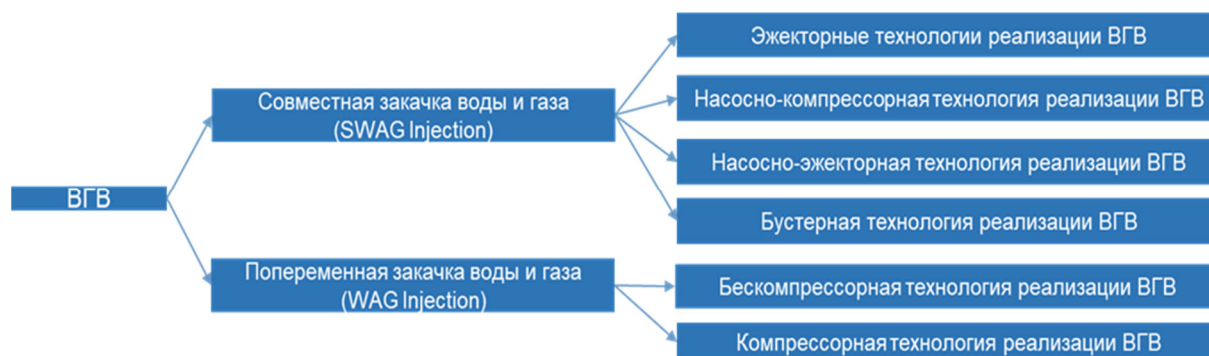


Рисунок 3 – Система для осуществления закачки в пласт нескольких агентов

Использование одной из систем позволит рационально использовать ПНГ, при снижении запасов ПНГ возможно включить в систему установку для генерации NO_2 , что позволит в совокупности не только избежать выбросов CO в атмосферу, но и достичь высоких показателей разработки.

Таким образом в нынешних реалиях, организациям необходимо более тщательно рассматривать подходы к эксплуатации месторождений и ставить на первое место не только экономический, но и экологический результат.

Список литературы:

1. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близнюков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
2. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
3. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
4. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
5. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003;
6. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020;
7. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
8. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
9. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
10. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
11. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
12. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на

карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.

13. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.

14. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.

15. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

16. Технология и техника водогазового воздействия на нефтяные пласты / А.Н. Дроздов [и др.]. – Ч. 2. Исследование.

17. Водогазовое воздействие на Новогоднем месторождении / С.Н. Закиров [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 12. – С. 40–43.

18. Зацепин В.В. Опыт промышленной реализации технологий водогазового воздействия с закачкой водогазовой смеси в пласт // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 2. – С. 9–15.

19. Кокорев В.И. Газовые методы-новая технология увеличения нефтеотдачи пластов // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 11. – С. 24–27.

20. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.

21. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.

22. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.

УДК 622.276.5

ОГРАНИЧЕНИЕ ВОДОПРИТОКА К ДОБЫВАЮЩИМ СКВАЖИНАМ**Сыщенко
Владислав Витальевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент
syshenkovlad2000@mail.ru**Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Гиладев
Геннадий Ганиевич****АО «Самаранефтегаз», Управление добычи нефти и газа**
работник

Аннотация. Применимость методов, описанных в статье позволяет уменьшить обводненность скважинной продукции.

Ключевые слова: изоляция водопритока, обводненность, РИР.

Н а сегодняшний день добычу полезных ископаемых осложняет ряд факторов и подход к решению какой-либо проблемы в большинстве случаев является индивидуальным.

Так при добыче углеводородов проблема, связанная с увеличением обводнённости скважинной продукции, имеет огромное количество решений, которые индивидуально подбираются для каждого месторождения исходя из фильтрационно-емкостных свойств пород, строения пластов, типов добываемой продукции и тд.

Таким образом многие методы, которые направлены на то, чтобы ограничить приток воды в добывающие скважины, в основном основываются на использовании изолирующих композиций, состоящих из некоторых химических реагентов, которые в свою очередь имеют специальные функции. Все химические продукты, которые ограничивают приток воды, разделяются на несколько классов: изолирующие воду и вспомогательные, представленные на рисунке 1. Продукты, которые изолируют воду главным образом выполняют роль при создании материала, который закупоривает. В зависимости от физического и химического принципа создания материала, который закупоривает, все изолирующие продукты можно разделить на несколько классов: осадкообразующие, гелеобразующие и отверждающиеся. При всем этом эти 32 материала, также, как и полимеры кислот акрилового ряда, можно отнести как к первому, так и ко второму классам. Вспомогательные продукты играют роль отвердителей, осадителей, стабилизаторов, наполнителей или модификаторов, которые регулируют физические и химические, а также и эксплуатационные свойства изолирующих составов

Далее приводится ассортимент химических продуктов, которые разработаны разработанных для ограничения водопритока и крепления неустойчивых пород в скважинах в зависимости от определенных геологических, физических, химических и технических условий некоторых нефтегазовых месторождений [18]. В таблице 1 приводятся самые распространенные материалы, которые применяются для изоляции водопритока в добывающих скважинах. Основные виды РИР, которые применяются для изоляции притоков вод в добывающих скважинах, представлены на рисунке 3 и применяемые в это же время разные материалы приведены на рисунке 4. По рисунку 3 можно увидеть, что некоторая часть РИР может быть выполнена с применением указанных материалов (сплошные линии), а в ряде РИР материалы используются в качестве вспомогательного компонента (пунктирные линии), способствуя повышению эффективности изоляционных работ. Все методы по частоте использования можно расположить в определенной последовательности (методы названы по определяющим реагентам), которые представлены на рисунке 2.



Рисунок 1 – Схема классификации химических реагентов для ограничения водопритока

Таблица 1 – Распространенные материалы, применяемые для водоизоляции в добывающих скважинах

Производитель	Сырье, используемое для водоизоляции	Условия применения		
		Коллектор	Вода	Пластовая тем-ра, °С
ПО «Азнефть»	Пеноцементы с сульфоломом	Терригенный, карбонатный	Минерализованная, пресная	<80
БашНИПИнефть	Термореактивные водорастворимые резорцин-или фенолформаль-дегидные смолы ТСД-9, ТС-10	Терригенный	Минерализованная, пресная	10-80
	Гипанформальдегидные смеси (ГФС)	Терригенный	Минерализованная, пресная	5-60
БашНИПИнефть, Гипровостокнефть	Водный раствор полиакриламида (ПАА)	Терригенный	Пресная	<60
	Гидрофобный тампонажный материал ГТМ-3	Терригенный, карбонатный	Минерализованная, пресная	5-60
ВНИИБТ	Упруговязкие системы (ВУС)	Терригенный	Минерализованная, пресная	<60
ВНИИ, Гипровостокнефть	Аэрированные жидкости и пены	Терригенный, карбонатный	Минерализованная, пресная	<60
ВНИИ, БашНИПИнефть	Смолы СФЖ, ПАВ и соляная кислота	Терригенный	Минерализованная, пресная	20-90
КраснодарНИПИнефть	Крепитель М с соляной кислотой (крепление неустойчивых пород)	Терригенный	Минерализованная, пресная	60-150
КХТИ им. С. М. Кирова	Гипаносернокислотная смесь	Терригенный	Минерализованная, пресная	<60
ПермНИПИнефть	Латекснефтяная эмульсия	Терригенный	Минерализованная	<130
ПО «Саратовнефтегаз»	Композиция гипан-ПАА-NaOH	Терригенный	Пресная	<60
СевКавНИПИнефть	Суспензии полиолефинов ПНД, ППП, ПБП	Терригенный	Пресная, минерализованная	100-170
	Гипан (селективный метод)	Терригенный	Минерализованная	5-60
ТатНИПИнефть	Нефтесернокислотная смесь (НСКС), (селективный метод)	Терригенный, карбонатный	Минерализованная, пресная	5-60
ПО «Томскнефть»	Композиция смол ТЭГ-1 + ПЭПА	Терригенный	Минерализованная, пресная	10-150


- 
- 1) цемент;
 - 2) нефтецементный раствор;
 - 3) гипан;
 - 4) водорастворимые фенолформальдегидные смолы ТСД-9, ТС-10;
 - 5) полнакриламид;
 - 6) крепитель М с соляной кислотой;
 - 7) пеноцементы;
 - 8) гипанформальдегидная смесь (ГФС);
 - 9) смола СФЖ с ПАВ и соляной кислотой;
 - 10) гидрофобный тампонажный материал ГТМ-3

Рисунок 2 – Методы по частоте использования (сверху вниз)

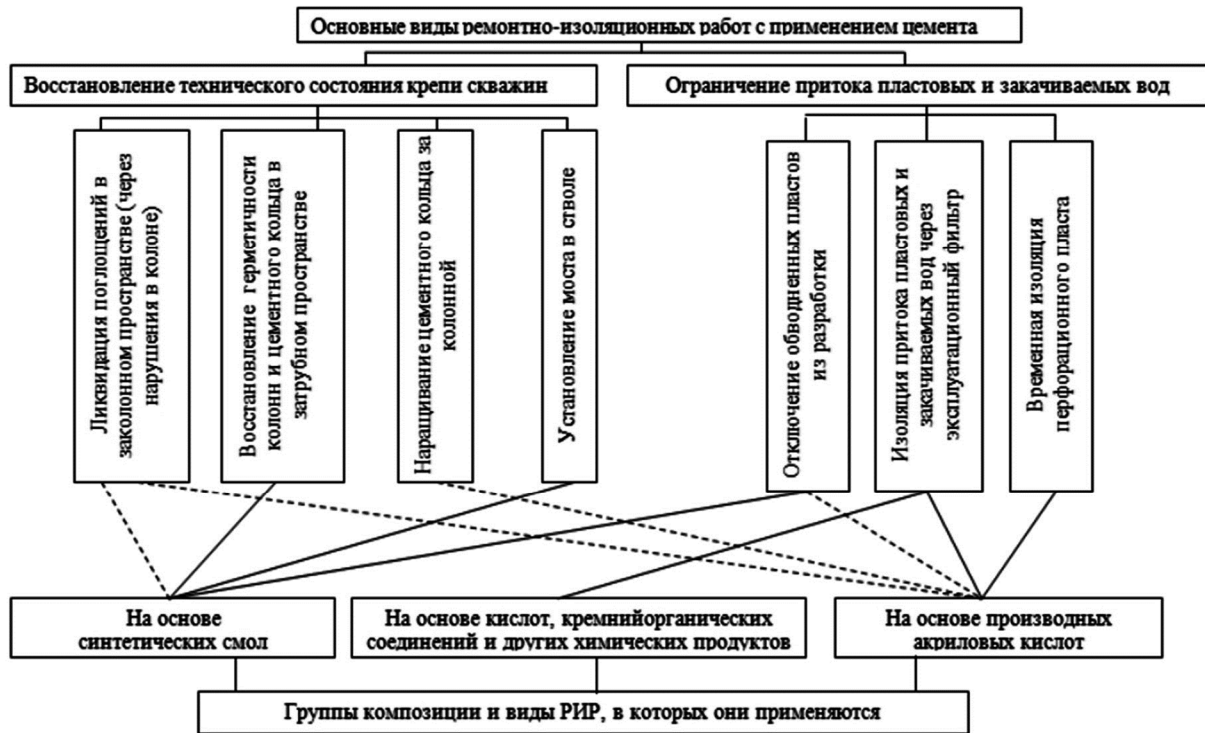


Рисунок 3 – Схема основных видов ремонтно-изоляционных работ с использованием цемента

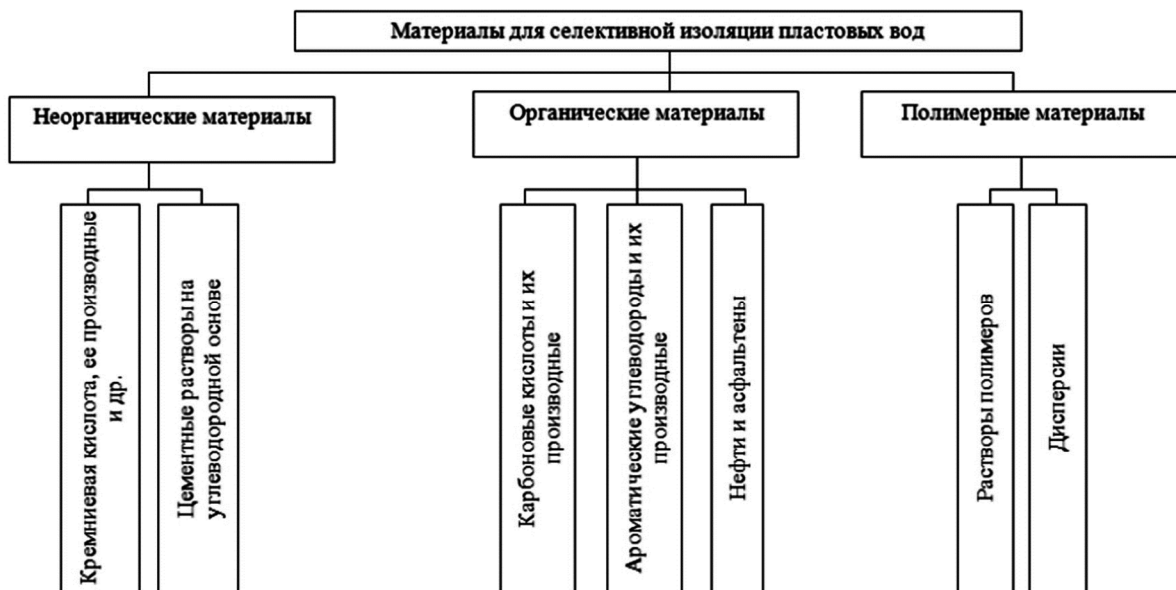


Рисунок 4 – Схема классификации материалов для селективной изоляции пластовых вод

Главным предпочтением во время производства изоляционных работ следует давать материалам и методам селективного действия. К селективным можно отнести методы, которые обеспечивают избирательное снижение проницаемости, лишь насыщенные водой доли пласта во время закачки водоизолирующих реагентов по всей его толщине. Селективность изоляционных работ формируется на свойствах изолирующего материала. С учетом природы селективных водогазоизолирующих материалов в настоящее время методы их использования можно разделить несколько групп:

- 1) методы, которые основаны на закачке в пласт органических полимерных материалов;
- 2) методы, которые основаны на использовании неорганических водоизолирующих реагентов;
- 3) методы, которые основаны на прокачке в пласт элемент органических соединений.

В качестве водоизолирующего материала из акриловых водорастворимых полимеров используются в основном полиакрилонитрил (гипан) и полиакриламид (ПАА).

Последовательность изоляции притоков воды этими соединениями основана на взаимодействии их с солями пластовых вод или адсорбции полимеров на водонасыщенной породе, которая снижает водопроницаемость. Можно найти также применение полиолефины. Эти полиолефины могут растворяться в нефти и также существуют в твердом состоянии при контакте с пластовой водой. Для селективной изоляции можно применить нефтесернистые смеси, тяжелые нефтепродукты. Особое внимание стоит уделить разработке метода, который основан на использовании полиизоцианатов и полиуретанов. Эти материалы являются инертными к нефти, а когда присутствует вода, то образуют разветвленный пространственношитый твердый полимер. Методы второй группы, которые основаны на применении неорганических изолирующих воду реагентов, можно найти применение неорганическим солям, которые из-за ионного обмена с солями пластовой воды или предварительно закачанной в пласт жидкостью, либо гидролиза с пластовой водой образуют нерастворимые в воде осадки или гели. Реализация этих методов сдерживается дефицитностью реагентов, их токсичностью, возможностью осложнений при выполнении водоизоляционных работ. Селективный метод (материал) не может обладать абсолютной избирательностью. Селективностью метода является его способность избирательно снижать продуктивность обводненных интервалов в большей степени, чем нефтенасыщенных. Чем больше степень снижения продуктивности притока пластовых вод, тем выше селективность метода. Наряду со снижением продуктивности обводненных интервалов в результате изоляционных работ возможно повышение проницаемости нефтенасыщенных интервалов пласта. Такие результаты могут быть получены, например, при использовании гидрофобизирующих порошков пространство коллектора реагентов.

Для того, чтобы изолировать приток пластовых вод в настоящее время используют специальный изолирующий реагент на основе воды АКОР. АКОР был изобретен на основании малотоксичных, которые не содержат хлор отходов после создания алкоксисилоксанов и алкоксисилоксанов, которые состоят из алкоксисилоксанов кремнийорганического соединения и кристаллогидратов солей металлов IV–VIII групп. В качестве кремнийорганических соединений используется соединение этил-бутилэфиров ортокремниевой кислоты и смолка этилсиликата. Кристаллогидраты осуществляют функцию доставщика воды, которая необходима для образования связей Si-OR , и катализируют поликонденсационные процессы образования «сшитого» неплавкого и нерастворимого тела, а также применяются для увеличения температурного интервала используемого состава и обеспечивает его отверждение в полном объеме. Время отверждения можно регулировать в большом интервале 57 температур, которое зависит от концентрации исходных компонентов и химической природы кристаллогидратов. Исследователи сконцентрировали свое внимание на создании изолирующих составов на основе более доступного класса кремнийорганических соединений, к которому относятся алкоксипроизводные КОС. На основе алкоксипроизводных КОС созданы новые изолирующие составы. Первая их группа содержит изолирующие составы, которые разработаны на основе эфиров ортокремниевой кислоты, вторая содержит олигомерные органоалкоксисилоксаны или композиции на их основе. Практический интерес для изоляции водопритоков выступают гидролизующиеся полифункциональные кремнийорганические соединения, содержащие связи SiO и SiC , которое определяет их промежуточное положение между органическими и неорганическими соединениями. Отечественной индустрией производится ряд олигоорганосилоксанов, которые различны по строению и свойствам: олигометилсилоксаны (ПМС), олигоэтилсилоксаны (ПЭС), олигометилфенилсилоксаны (ПФМС), олигоорганоксисилоксаны с атомом галогена в органическом радикале и органогидридсилоксаны (ГКК). Олигометилсилоксаны коррозионноинертны, обладают хорошими диэлектрическими свойствами и поверхностной активностью, температура застывания ниже -50 °С. Олигоэтилсилоксаны имеют более низкую температуру застывания (минус 100 °С). Результаты промышленных экспериментов на Самолорском месторождении характеризуются высокой степенью снижения водопроницаемости, что выражено в уменьшении воды в добываемой продукции, но длительность эффекта в целом невелика, что можно увидеть в таблице 2

Таблица 2 – Промысловые испытания реагента «АКОР»

Пласт воздействия	Удельный расход реагента, м /м	Объем продавочной жидкости, м ³	Дебит нефти, м ³ /сут		Содержание воды в продукции скважины, %	
			до ремонта	после ремонта	до ремонта	после ремонта
A ₄₋₅	0,27	34	230	200	45	35
A ₄₋₅	0,20	12	90	120	75	0,7
A ₄₋₅	0,25	12,5	80	230	60	0,9
Б ₈	0,35	6,8	150	180	30,4	0,3

Таким образом технологии ограничения водопритока требуют многовариационного анализа при подборе для того или иного случая, что в свою очередь вызывает необходимость в постоянном совершенствовании композиций и методов применения технологий способствующих ограничений водопритока.

Список литературы:

1. Вопросы теории и практики ограничения пескопроявлений в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / М.А. Бурштейн [и др.]. – Краснодар, 2004.
2. Система бюджетирования на предприятии как инструмент управления / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 16–18.
3. Лядов Б.С., Кошелев А.Т., Гилаев Г.Г. Способ обработки нагнетательных скважин.
4. Гилаев Г.Г., Тухтеев Р.М., Хабибуллин М.Я., Ибраев Р.А. Устройство для закачки жидкости. Патент на изобретение RU 2241825 С2, 10.12.2004. Заявка № 2003104370/03 от 13.02.2003.
5. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах / Г.Г. Гилаев [и др.]. – Ижевск, 2020.
6. Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий / Г.Г. Гилаев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 31–33.
7. Основные причины и методы предупреждения нарушения обсадных колонн при разработке пескопроявляющих продуктивных пластов / В.Ю. Близиуков [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
8. Опыт и результаты системного совершенствования традиционных технологий строительства нефтяных и газовых скважин / В.Н. Поляков [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 13–18.
9. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
10. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
11. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмаилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
12. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.

13. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
14. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
15. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
16. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
17. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
18. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.

УДК 539.3

К ИССЛЕДОВАНИЮ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АКУСТИЧЕСКОМ СЛОЕ С ПОКРЫТИЕМ

**Телятников
Илья Сергеевич**

Кубанский государственный университет
кандидат физико-математических наук, научный сотрудник
ilux_t@list.ru

**Павлова
Алла Владимировна**

Кубанский государственный университет
доктор физико-математических наук, профессор
pavlova@math.kubsu.ru

**Рубцов
Сергей Евгеньевич**

Кубанский государственный университет
кандидат физико-математических наук, доцент
rub_serg@mail.ru

Аннотация. Теория сейсмических процессов, а также решение прикладных задач вибрационной геофизики и сейсмологии связаны с изучением волновых процессов в литосферных структурах. В работе исследуются модели структуры, включающей акустический слой с упругим покрытием, расположенный на недеформируемом основании. В качестве покрытия рассматриваются две модели: упругий слой и пластина Кирхгофа. Представлен алгоритм построения волновых полей, возбуждаемых гармоническим сосредоточенным источником. Метод исследования основан на использовании интегрального преобразования Фурье.

Ключевые слова: акустический слой, упругое покрытие, гармонический источник.

Мониторинг волновых и деформационных процессов геологических массивов в целях прогнозирования и предотвращения катастрофических событий относится к важнейшим научным задачам и имеет широкие приложения в сейсмологии, механике разрушений, строительной механике и т.д. При изучении проблем региональной сейсмичности и описании геофизических полей в реальных средах в качестве моделей последних часто используют пакет слоев или слоистое полупространство [1 и др.].

Рассматривается задача о вибрации акустического слоя на недеформируемом основании. На поверхности акустической среды расположено упругое покрытие, описываемое в одной модели полной системой уравнений Ляме, в другой – линеаризованными уравнениями для пластины Кирхгофа. Для установившегося режима колебаний (с частотой ω) множитель $\exp(-i\omega t)$ всюду опущен, во всех соотношениях использованы амплитудные значения соответствующих функций.

Давление жидкости $p(\mathbf{x})$ в области $\Omega_1 = \{-\infty < x, y < +\infty, -h_2 \leq z \leq 0\}$ описывается уравнением Гельмгольца

$$\Delta p + \kappa^2 p = -A \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0). \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{x}_0 = (x_0, y_0, z_0)$ – точка локализации источника колебаний, $\mathbf{x} = \{x, y, z\}$, $\kappa = \omega / c$, c – скорость распространения акустических волн в жидкости, A – характеристика мощности источника, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$.

Связь между вектором скоростей точек жидкости \mathbf{v} и потенциалом скоростей $\varphi(\mathbf{x})$ определяется равенством $\mathbf{v} = -\nabla \varphi = \{-\varphi'_x, -\varphi'_y, -\varphi'_z\}$. Давление p связано с потенциалом скоростей соотношением

$$p(\mathbf{x}) = i\omega\rho_1\varphi(\mathbf{x}), \quad (2)$$

где ρ_1 – плотность жидкости.

С учетом (2) уравнение (1) можно переписать в виде

$$\Delta\varphi + \kappa^2\varphi = A_1\delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0), \quad (3)$$

где $A_1 = -i\frac{A_0}{\omega\rho_1}$.

Для первой модели колебания упругого покрытия [2], занимающего область $\Omega_1 = \{-\infty < x, y < +\infty, 0 \leq z \leq h_1\}$, описываются системой уравнений Ламе

$$(\lambda + \mu)\text{grad}(\text{div}\mathbf{u}) + \mu\Delta\mathbf{u} = -\omega^2\rho\mathbf{u}, \quad (4)$$

где λ, μ – константы Ламе, ρ – плотность среды, $\mathbf{u}(\mathbf{x}) = \{u, v, w\}$ – вектор амплитуд перемещений точек покрытия. Для этой модели покрытия плоскость xOy декартовой системы координат совмещена с границей упругой и акустической сред, ось Oz направлена нормали вверх.

Для второй модели рассматривается задача для пластины с осредненными по толщине свойствами на акустическом слое. При этом плоскость xOy декартовой системы координат совмещена со срединной плоскостью покрытия, ось Oz направлена по нормали вверх. Амплитуды смещений срединной плоскости покрытия описываются уравнениями [3, 4]

$$\mathbf{R}(\partial_x, \partial_y)\mathbf{u}(x, y) - \mathbf{E}\mathbf{g}(x, y) = 0, \quad -\infty < x, y < +\infty, \quad (5)$$

$$R_{11} = \partial^2/\partial x^2 + \varepsilon_1\partial^2/\partial y^2 + \varepsilon_4, \quad R_{22} = \partial^2/\partial y^2 + \varepsilon_1\partial^2/\partial x^2 + \varepsilon_4, \quad R_{33} = \varepsilon_3\Delta^2 - \varepsilon_4, \\ R_{12} = R_{21} = \varepsilon_2\partial^2/\partial x\partial y, \quad R_{jk} = R_{kj} = 0, \quad k = 3, \quad j = 1, 2; \quad \mathbf{E} = \varepsilon_5\text{diag}\{-1, -1, 1\}.$$

Коэффициенты системы определяются следующим образом: $\varepsilon_1 = 0,5(1 - \nu)$, $\varepsilon_2 = 0,5(1 + \nu)$, $\varepsilon_3 = h_1^2/12$, $\varepsilon_4 = \omega^2\rho(1 - \nu^2)E^{-1}$, $\varepsilon_5 = (1 - \nu^2)E^{-1}h_1^{-1}$. В качестве характеристик покрытия приняты: ρ – плотность, ν – коэффициент Пуассона, E – модуль Юнга, h_1 – толщина пластины. Здесь $\mathbf{g} = \{g_k\}$, $k = \overline{1, 3}$, – вектор контактных напряжений, действующих на нижнюю сторону пластины со стороны акустического слоя. Верхняя граница покрытия свободна от напряжений.

Задаются следующие условия сопряжения покрытия и акустической среды.

На границе покрытия в виде деформируемого слоя и жидкости при $z = 0$ в упругой среде отсутствуют касательные напряжения, нормальная компонента напряжений равна по величине давлению жидкости:

$$\tau_{xz}(x, y, 0) = \tau_{yz}(x, y, 0) = 0, \quad (6)$$

$$\sigma = -p(x, y, 0) = -i\omega\rho_1\varphi(x, y, 0), \quad (7)$$

где ρ_1 – плотность акустической среды. Верхняя граница покрытия $z = h_1$ свободна от напряжений.

Кроме того, вертикальные компоненты векторов скоростей для пакета слоев непрерывны

$$-i\omega w(x, y, 0) = \left. \frac{\partial\varphi(x, y, 0)}{\partial z} \right|_{z=0}. \quad (8)$$

На границе пластины-покрытия и акустического слоя при $z = 0$ условия (6), (7) принимают вид

$$g_1(x, y) = g_2(x, y) = 0, \quad (9)$$

$$g_3(x, y) = -p(x, y, 0) = -i\omega\rho_0\varphi(x, y, 0), \quad (10)$$

Т.е. отсутствуют касательные напряжения, нормальная компонента напряжений равна по величине давлению. Вертикальные составляющие векторов скоростей для покрытия и акустического слоя в области контакта непрерывны (8).

На границе акустический слой – недеформируемое основание ($z = -h_2$) нормальная компонента вектора скорости обращается в ноль

$$\frac{\partial\varphi(x, y, -h_2)}{\partial z} = 0. \quad (11)$$

Для решения задач (3), (4), (6)–(8), (11) и (3), (5), (9)–(11) воспользуемся следующим способом [2]. Пусть на границе между покрытием и акустическим слоем задана неизвестная пока функция $q(x, y)$, такая что

$$-i\omega\rho_1\varphi(x, y, 0) = q(x, y). \quad (12)$$

Давление на верхней границе акустического слоя (12) равно по величине вертикальной составляющей напряжения на нижней границе покрытия.

Получаем две независимые подзадачи: для упругого покрытия и акустического слоя, каждая из которых решается с помощью применения интегрального преобразования Фурье по переменным x, y [5].

Для определения трансформанты введенной неизвестной функции давления на верхней границе акустической среды используются условия (8) (для первой модели покрытия) или (10) (для второй модели).

Для нахождения амплитудных значений искомых смещений необходимо вычислить обратное преобразование Фурье

$$\mathbf{u}(x, y, z) = \mathbf{V}^{-2}\mathbf{U}(\alpha_1, \alpha_2, z) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\sigma_1 \sigma_2} \mathbf{U}(\alpha_1, \alpha_2, z) \exp(-i(\alpha_1 x + \alpha_2 y)) d\alpha_1 d\alpha_2.$$

Здесь контуры σ_1, σ_2 почти всюду совпадают с вещественной осью, отклоняясь от нее лишь при обходе вещественных полюсов подынтегральной функции [5].

Нахождение амплитудных значений смещений поверхности рассматриваемой структуры находятся численно с помощью теории вычетов [6].

На рисунке 1 показана зависимость амплитуд поверхностных волн от частоты. Рисунок 1а [2] соответствует следующим модельным параметрам элементов структуры: $h_1 = 1, h_2 = 4, v_p = 2,5, v_s = 1, \rho = 1,5, \rho_1 = 1, c_0 = 1$. С ростом частоты число волн возрастает. Здесь $v_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu)\rho^{-1}}, v_s = \sqrt{\mu\rho^{-1}}$.

Рисунок 1б соответствует следующим значениям модельных данных задачи: $h_1 = 0,01, h_2 = 0,5, v_p = 3,5, v_s = 2, \rho = 0,8, \rho_1 = 1,5, c_0 = 1$. В этой среде возбуждаются меньше волн, чем в предыдущей. Так на частоте $\omega = 3$ имеется только одна волна, в то время как в первой среде их было уже восемь.

До частоты, на которой длина изгибной волны в пластине совпадает с длиной акустической волны, результаты для двух моделей покрытия практически совпадают.

Аналитическое представление напряжений и перемещений в основаниях сложной структуры очень важно для понимания протекающих на границах составных упругих, жидких сред многопараметрических процессов. Описанный подход позволяет изучать особенности распространения волн, генерируемых осциллирующими нагрузками в составных слоистых гетерогенных основаниях. Результаты работы могут быть использованы при построении моделей литосферных структур, геологических структур с межпластовыми водами и т.д.

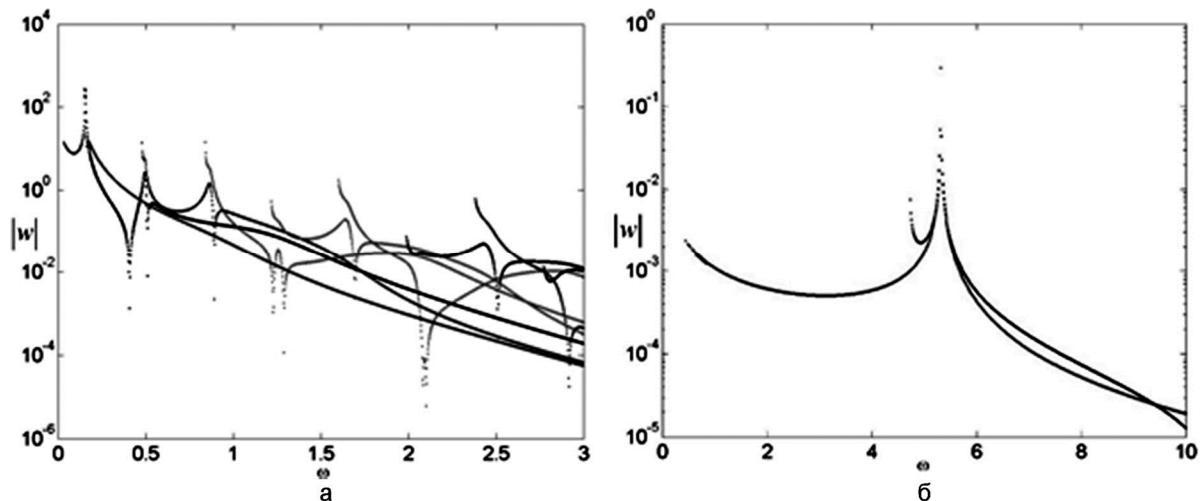


Рисунок 1 – Амплитуды вертикальной компоненты волн в логарифмическом масштабе

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-21-20032, <https://rscf.ru/project/22-21-20032/>.

Список литературы:

1. Собисевич А.Л. Мониторинг слоистых неоднородных сред. – М. : ОИФЗ РАН, 2001. – 354 с.
2. Pavlova A.V., Rubtsov S.E., Telyatnikov I.S. On models of wave processes in geological structures with the presence of a interlayer water // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – V. 1070. – 012013.
3. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. – М. : Наука, 1972. – 432 с.
4. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. – М. : Наука, 1976. – 512 с.
5. Ворович И.И., Бабешко В.А. Динамические смешанные задачи теории упругости для неклассических областей. – М. : Наука, 1979. – 319 с.
6. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. – М. : Наука, 1987. – 688 с.

УДК 691.327

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

**Фомин
Алексей Николаевич**

Кубанский государственный технологический университет
начальник лаборатории «СтройЭкспертЭкология»
diamondowl87fan@mail.ru

**Кульбеда
Дмитрий Витальевич**

Кубанский государственный технологический университет
заместитель начальника лаборатории
«СтройЭкспертЭкология»
stroy-ekspert-ekologiya@mail.ru

**Чариков
Григорий Юрьевич**

Кубанский государственный технологический университет
инженер лаборатории «СтройЭкспертЭкология»
grigoriicharicov@mail.ru

Аннотация. В данной статье произведен краткий обзор по мероприятиям утилизации отходов строительства. Произведен анализ существующих методов, а также приведены достижения по переработке строительных отходов.

Ключевые слова: строительные отходы, утилизация, переработка, сжигание, захоронение, производство новых материалов, вяжущее вещество, эпоксидные смолы.

В настоящее время строительство характеризуется ростом объёмов возведения новых зданий и сооружений, а также реконструкции, капитального ремонта и сноса устаревших зданий и сооружений. Все это влечёт за собой образование значительного количества строительных отходов.

Преобладающие виды строительных отходов в городах – замусоренный грунт, асфальт, каменные материалы, кирпич, бетон и железобетон, древесина, керамическая плитка, картон, бумага и т.д. Примерное соотношение представлено на рисунке 1 [1].

Можно выделить несколько основных мероприятий по утилизации отходов строительного производства:

- сжигание;
- захоронение на специальных полигонах;
- переработка.

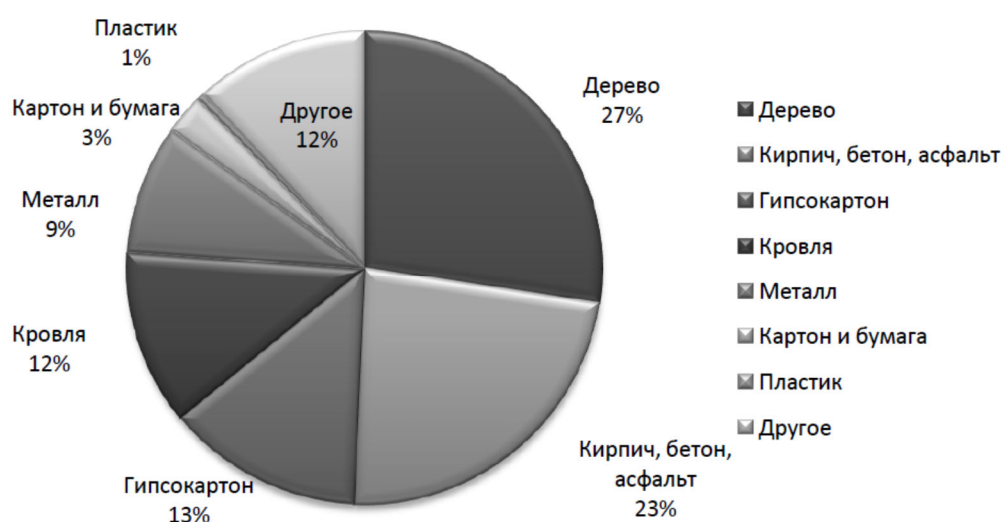


Рисунок 1 – Распределение строительных отходов

Сжигание строительных отходов является простым и универсальным методом утилизации мусора, но имеет массу недостатков: большой остаток шлака, высокий уровень образования вредных газов, вызывающих целый ряд серьезных заболеваний и загрязнение атмосферы. При сжигании отходов образуются летучая зола (30 кг/т), дымовые газы (6 тыс. м³/т), содержащие множество загрязнителей [2]. Кроме того, вышеуказанным методом утилизации мусора можно избавиться лишь от малой части строительных отходов, так как большинство из них не горят.

Самым распространенным вариантом утилизации является захоронение. Однако полигоны, на которых происходит данный вид утилизации, занимают обширные территории, что влечет за собой уменьшение полезной площади. В большинстве случаев захоронение отходов способствует загрязнению почв, а также грунтовых и подземных вод.

Данные методы не способны решить экологические проблемы, а, возможно, их даже ухудшить. Таким образом, наиболее перспективным и прогрессивным методом утилизации отходов является переработка строительного мусора.

Именно переработку отходов уже давно взяли на вооружение все развитые страны мира как наиболее экологичный метод. В процессе вышеуказанного мероприятия по утилизации отходов строительной отрасли можно получить новые материалы со сниженной себестоимостью. Данный метод утилизации представляет наибольший практический и научный интерес.

В испытательной лаборатории «СтройЭкспертЭкология» были разработаны составы, которые представляют собой смесь вяжущего вещества с наполнителем. В качестве наполнителя послужили строительные отходы (кирпич, бетон), которые предварительно подвергались дроблению. Полученная смесь различных фракций дает возможность производить более плотную «упаковку» компонентов, т.е. варьировать плотность получаемого материала. В свою очередь в качестве вяжущего вещества выступила эпоксидная смола. Прочность полученного материала на порядок выше, чем у бетонов класса В35. Но дороговизна вяжущего не позволяет применять данную технологию повсеместно. Уменьшение количества вводимых смол приводит к понижению прочностных характеристик нового материала. Такие виды материала можно использовать в различных конструкциях, например, в качестве несъемной опалубки при монолитном строительстве, ограждающие конструкции, тротуарные бордюры и т.д.

На сегодняшний день главной задачей для лаборатории является поиск и разработка нового вяжущего, которое позволит заменить эпоксидную смолу без ухудшения физико-механических свойств получаемого материала.

Список литературы:

1. Смикалин Н.С. Утилизация и переработка строительного мусора // Наука и образование сегодня. – 2019. – С. 15–16.
2. Асанова А.С., Лузгина Е.А. Современные материалосберегающие методы переработки строительных отходов // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 11 [Электронный ресурс]. – URL : <http://web.snauka.ru/issues/2016/11/74347>

УДК 622. 276.6

**УВЕЛИЧЕНИЕ ОХВАТА ПЛАСТА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН В ЧАДЕ****Хамза
Хассан Абакар****Кубанский государственный технологический университет**
студент
hassanfiles500@gmail.com**Гиладев
Гани Гайсинович****Кубанский государственный технологический университет**
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
gggilaev@gmail.com**Иванов
Дмитрий Юрьевич****Кубанский государственный технологический университет**
доцент кафедры нефтегазового дела

Аннотация. Чадские нефтяные компании обнаружили, что показаны горизонтальные скважины в коллекторах с различными условиями осадконакопления. Они используются для увеличения покрытия резервуара. В статье проанализированы особенности увеличения охвата пласта с применением горизонтальных скважин. В работе определены основные объекты и аргументы в пользу применения горизонтального бурения без исключения закономерностей фильтрации газа в скважинах.

Ключевые слова: горизонтальная скважина, линия тока, пласт, трещина, фильтрация.

В области добычи ценных энергетических ресурсов бурение горизонтальных скважин занимает важное место. С помощью такой технологии становится возможным добыча продукции из труднодоступных мест, а также разработка сложных участков пород. Создаваемая в процессе бурения горизонтальная скважина имеет определенный угол отклонения от оси вертикального ствола, благодаря чему становится возможным выкачивать продукцию наиболее быстрым и продуктивным образом.

Целью данной работы является изучение особенностей увеличения охвата пласта воздействием с применением горизонтальных скважин и поэтому поставлены следующие цели:

1. Определение причин широкого распространения горизонтальных скважин.
2. Изучение фильтрации газа к горизонтальной скважине.
3. Рассмотрение схематизации притока газа к горизонтальной скважине.

В основном ученые предполагают, что в сравнении с вертикальными скважинами при вскрытии продуктивных пластов горизонтальные скважины увеличивают производительность скважин в разы. Авторы, которые изучают горизонтальные скважины, отмечают то, что целесообразность горизонтальных скважин заключается в:

- 1) повышении отбора нефти;
- 2) создании новой геометрии дренирования пласта;
- 3) росте производительности при наличии вертикальных трещин;
- 4) создание необходимых условий эксплуатации, где повышается нефтеотдача компонентов маломощных пластов;
- 5) рентабельности при горизонтальном бурении разработки пластов которые истощены, стоимость при горизонтальном бурении скважины будет сопоставима со стоимостью вертикально пробуренной скважины.

Также причиной является, что при наличии горизонтальном бурении ствол работы по интенсификации притока жидкости к забою могут дать эффект лучше, нежели в вертикальных скважинах, так как по длине горизонтального ствола можно произвести операции по гидроразрыву пласта, делая их один за другим или же их делать последо-

вательно, начав с конца. Использование горизонтального бурения необходимо, когда площадь для размещения скважины ограничена, как, например, в труднодоступных районах и на шельфовых месторождениях. Трещины продуктивных пластов расположены в основном с определенной закономерностью. Поэтому при вскрытии трещиноватых пластов ствол горизонтальной скважины может быть ориентирован, исходя из главных направлений трещин. Основными объектами горизонтального бурения являются малорентабельные и неэкономичные для освоения вертикальными скважинами. Стоимость исследования составляет от 10 до 33 долл./м³. В большинстве случаев горизонтальные скважины при изучении месторождения предпочтительнее чем вертикальные. В работах, которые посвящены фильтрации жидкости отмечают то, что движении жидкости (флюида) в пористой среде происходит нарушение линейного закона градиентом давления и скоростью фильтрации, который установил Дарси. По утверждениям Ньютона, существует три вида движения в жидкой среде твердого тела:

- 1) при сопротивлении, пропорциональном первой степени скорости;
- 2) при сопротивлении, пропорциональном второй степени скорости;
- 3) при сопротивлении, пропорциональном частично первой и частично второй степеням скорости.

Данное утверждения было перенесено советским ученым М.М. Великановым на фильтрацию жидкости в пористой среде. Нарушения линейной зависимости между скоростью фильтрации и градиентом давления подтвердили экспериментально. С развитием работ по освоению месторождений нефти и газа в низкопродуктивных пластах, в труднодоступных местах и шельфовых зонах, а также маломощных пластов возникла необходимость изучить фильтрацию газа при нелинейном законе сопротивления к горизонтальным скважинам от притока к забою горизонтальной скважины. А также от притока к забою к вертикальной заключающийся в том, что у горизонтальной скважины есть интервал притока газа, который может достигать сотни метров. При такой протяженности интервала притока газа ставятся важные вопросы, которые связаны с установлением технологического режима работы горизонтальной скважины. В горизонтальных скважинах сопротивления могут быть одновременно, но в различных частях ствола скважины. В конце ствола, из за того что величина депрессии мала, величина квадратичного члена в уравнении притока будет иметь линейную зависимость между скоростью фильтрации и градиентом давления. При приближении к участку, где происходит переход в вертикальное положение скважины больше будет влиять нелинейная связь между скоростью фильтрации и градиентом давления и которая, в конечном счете, будет преобладать над линейной. У горизонтальных скважин линии тока искривлены вблизи скважины. Когда горизонтальная скважина вскрывает пласт, где полоообразная форма, полностью и при этом параллельно контурам питания, то в этом случае возможно три вариантах их расположения:

- 1) скважина одинаково удалена от контуров питания, от кровли и подошвы пласта;
- 2) скважина одинаково удалена от кровли и подошвы пласта, но находится на разных расстояниях от контуров питания;
- 3) скважина находится на разных расстояниях как от кровли и подошвы пласта, так и от контуров питания.

В результате проделанной работы сделаны следующие выводы:

1. Целесообразность горизонтальных скважин заключается: в повышение дебита, создании новой геометрии дренирования пласта, становлении рентабельным разработки низкопродуктивных пластов и почти истощенных пластов.
2. В горизонтальной скважине линейный и нелинейный закон фильтрации могут сосуществовать одновременно.
3. В горизонтальных скважинах существует определенные линии тока, которые находятся вблизи скважины, и если при этом пласт имеет полоообразную форму, и если скважина может вскрыть ее полностью и параллельно контурам питания, то существуют три варианта расположения.

Список литературы:

1. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004.
2. Гилаев Г.Г., Вартумян Г.Т., Арутюнян А.С. Краткий анализ исследований по гидродинамике горизонтальных скважин // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 308–314.
3. Гилаев Г.Г., Стрункин С.И., Яшков В.А., Козлов С.А., Нечаев А.С., Исмагилов А.Ф., Тимашев Э.О., Кулешов С.П., Докичев В.А., Алимбеков Р.И., Бахтизин Р.Н., Греков С.Н., Латыпова Д.Р. Способ рекультивации земель, занятых шламовыми амбарами. Патент на изобретение RU 2564839 С1, 10.10.2015. Заявка № 2014111363/13 от 25.03.2014.
4. Опыт проведения сейсморазведочных работ мотг-3d по методике slip-sweep / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 82–85.
5. Бурштейн М.А., Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Анализ динамики и причины пескований горизонтальных скважин пласта а4-8 федоровского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
6. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 33–41.
7. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т. Об эффективности ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах // Нефтепромысловое дело. – 2003. – № 11. – С. 48–50.
8. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2007. – № 4. – С. 38–43.
9. Причины образования и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями / К.Ю. Стрелкова [и др.] // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых по результатам XLVII студенческой научной конференции / Отв. ред. С.А. Удодов. – Краснодар, 2022. – С. 66–74.
10. Расчет несущей способности цилиндрических оболочек в зоне опорных устройств / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 378–382.
11. Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Повышение эффективности избирательной кислотной обработки скважин путем применения точечной гидropескоструйной перфорации. Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов. – 2021. Т. 332. – № 2. – С. 146–152.
12. Проблемы предупреждения и ограничения пескопроявлений в нефтедобыче / Г.Г. Гилаев [и др.]. – М., 2004.
13. Гилаев Г.Г., Ковалёв Н.И., Хисметов Т.В. Справочное пособие по технологии и техническим средствам добычи нефти. – Краснодар, 2005. – Ч. 2.
14. Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Исследование процесса возбуждения пульсаций в движущемся потоке жидкости в трубопроводе // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 93–98.
15. Оптимизация состава сооружений как элемент управления затратами при обустройстве нефтяных месторождений / Г.Г. Гилаев [и др.] // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2015. – № 3 (40). – С. 78–80.
16. Вартумян Г.Т., Гилаев Г.Г., Тригубова Е.А. Проблемы повышения долговечности цементного камня в скважине. – М., 2001.
17. Гилаев Г.Г. Способы решения проблемы высокого затрубного давления, создаваемого попутным нефтяным газом, в скважинах, эксплуатирующихся УЭЦН // Ашировские чтения. – 2021. – Т. 1. – № 1(13). – С. 233–236.
18. Объективные основы бурения горизонтальных и разветвленно-горизонтальных скважин / Г.Г. Гилаев [и др.] // Гипотезы, поиск, прогнозы / Отв. ред. Булатов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – С. 304–307.

19. О причинах появления межколонного давления в нефтегазовых скважинах / А.Т. Кошелев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 7. – С. 16–20.

20. Гилаев Г.Г., Кошелев А.Т., Фоку Ж. Термоволновые методы повышения нефтеотдачи пластов // Освоение и добыча трудноизвлекаемых и высоковязких нефтей. 4-я Международная конференция. – 2004. – С. 18–21.

21. Гилаев Г.Г., Останков Н.А., Козлов С.А., Пашкевич К.Л., Ртищев А.В., Григорян Л.Г., Игнатенков Ю.И. Способ снижения образования вторичного сероводорода при подготовке нефти и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2666543 С1, 11.09.2018. Заявка № 2017119383 от 01.06.2017.

22. Моделирование жидкостных потоков в центробежном сепараторе / Г.Г. Гилаев [и др.] // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2021. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа, 2021. – С. 349–354.

23. Гилаев Г.Г., Хабибуллин М.Я., Бахтизин Р.Н. Совершенствование инфраструктуры нефтегазодобычи, как эффективный инструмент поддержания базовой добычи нефти и газа // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКР. – 2021. – № S2. – С. 121–130.

УДК 544.2

**ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРОИСХОДЯЩИЕ
В НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ****Хрисониди
Виталий Алексеевич****Кубанский государственный технологический университет**
старший преподаватель кафедры химии
hrisonidi_vital@mail.ru**Лободин
Максим
Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
студент
snaxfull@mail.ru**Масленникова
Валерия Андреевна****Кубанский государственный технологический университет**
студент
vmaslennikova27@icloud.com

Аннотация. В этой статье рассматриваются основные методы исследования, важнейшие макросвойства и механизмы структурирования нефтяных дисперсных систем в жидкой фазе, а также изучаются фазовые превращения в процессах добычи, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: нефтяная дисперсная система, фазовый переход, макросвойства, структурирование, исследование, превращение, изомеризация.

Известно, что в нефтяных системах присутствуют структурные фазовые переходы. Хотя и количество работ по этой теме достаточно, до сих пор не ясно, какие механизмы фазовых превращений происходят при термической обработки НДС. Для того, чтобы рационально использовать сырье и выбрать оптимальный технологический режим необходимо рассмотреть, как будут изменяться НДС в широких интервалах варьирования технологических параметров [1, с. 3].

Благодаря созданию теоретической основы, учитывающей применение физических, химических и механических свойств сырой нефти, развитию методик анализа и совершенствованию инструментальной базы, начала развиваться теория регулируемого фазового перехода. В процессе добычи, транспортировки, переработки и хранения нефти происходящие превращения требуют использования новых инструментальных методов анализа для того, чтобы использовать математические модели для детального изучения поведения нефтяных систем. Применение принципов теории регулируемых фазовых переходов в нефтяных системах позволяют решать экологические проблемы, путем организации полезного использования остатков и отходов нефтепереработки.

З.И. Сюняев полностью разработал процесс структурирования в жидком состоянии при фазовом переходе в нефтяной дисперсной системы.

Расчет процесса разделения природного и нефтяного газа, а также его заводской переработки упрощен до расчета баланса фазовых превращений для более быстрого налаживания технологического процесса и его перестройки в случае изменения условий его проведения. Фазовый переход нефтяной дисперсной системы описывается системой уравнений концентрации фаз, которая позволяет рассчитать разделение исходной системы на газовую и жидкую фазы, а также дает возможность определить состав фазы при термодинамическом равновесии [2, с. 157].

Сложное превращение веществ в реакциях изомеризации и расщепления во многих случаях удовлетворительно объясняется соотношением реакций между свободными радикалами и ионами. Использование катализаторов различного состава и структуры позволяет ускорить превращение свободных радикалов или ионов в продукты реакции. Однако, не существует полной системы взаимосвязи между составом и

свойствами катализаторов, применяемых в процессе гидрирования. Изучение взаимосвязи между свойствами катализатора с механизмом и динамикой реакции, происходящей в его присутствии, заключается в создании нового процесса гидроочистки и более селективного гидрирования нефти и нефтяных остатков.

Работы Брукса и Тейлора, посвященные фазовым превращениям в процессе термического разложения нефтепродуктов дало толчок для развития теории фазового перехода. В основном, они включают рассмотрение структур, образующихся при термическом разложении, которые по многим свойствам похожи на структуру жидких кристаллов. Целью исследований является изучение коллоидных свойств и структурных процессов в жидкой фазе, в процессе формирования данных теоретических предпосылок, появилось понятие «нефтяной дисперсной системы».

Появились новые идеи и о механизме превращения нефтяной дисперсионной системы в процессе переработки. Теория регулирования фазового перехода, предложенная профессором Сюняевым, стала оригинальной. В этой теории многих ученых волнует идея образования и разрушения надмолекулярных образований в НДС под воздействием внешних факторов.

При изучении поведения высоkozастывающего сырья при низких температурах в области $-30...-20$ °С химики заметили, что фазовый переход не проявится в очевидной форме, как бы это бы могло быть в традиционном понимании этого физического явления. Поэтому при понижении температуры не происходит резкого качественного изменения общих структурных компонентов системы. Сделаны предположения о временных показателях в системе процесса «упорядочения-разупорядочения», которая выделяет либо поглощает тепло, а также компенсирует тепловой эффект химической системы.

Трудность, с которой сталкиваются физики, химики и инженеры при анализе физико-химических явлений в процессе технологического процесса, заключается в различных свойствах, которые они описывают. Физики изучают фазовые переходы, химики изучают условия и механизмы химических реакций в нефтяных системах, инженеры-переработчики нефти ищут технические решения для улучшения технологии и качества полученных нефтепродуктов, технологи-промысловики ищут способы воздействия на коллекторы для увеличения дебита скважин, технологи-транспортники решают технические проблемы транспортировки высоковязкой нефти, а инженеры-экологи обеспечивают технические методы защиты окружающей среды. Очевидная прерывистость технологического цикла, связанного с добычей, транспортировкой, переработкой и использованием нефтепродуктов, привела к ситуации, когда различные специалисты изучают одни и те же физические и химические явления [3].

При различных условиях в присутствии углеводородных систем нефть можно рассматривать как нефтяную дисперсную систему. Изменения в термобарических условиях приводят к изменениям в структуре этих систем, которые наиболее очевидны в области фазового перехода. В этом случае наиболее важными параметрами являются дисперсность, энергия межмолекулярного взаимодействия, размер, конфигурация, поверхностная и объемная активность, которая представляет структуру дисперсной фазы, а также степень сольватации дисперсной фазы дисперсионной средой. Изменения этих параметров отражаются на основных макроскопических характеристиках системы. Более того, в ответ на внешние или внутренние возмущения в системе нефтяной дисперсной системы этих характеристик сопровождаются нелинейными эффектами. Отклонение аддитивного характера различных свойств нефти в процессе ее превращения характерно не только для смеси различных углеводородов, но может проявляться даже в одном и том же гомологическом ряду.

Из большого арсенала методов, разработанных на сегодняшний день, только с помощью неразрушающих методов, которые не имеют ничего общего с добавлением растворителей или приложением сильных механических нагрузок к исследуемой нефтяной системе, можно получить наиболее полную информацию о состоянии НДС тяжелого состава компонентов. Гель-ионная хроматография, фототермический метод, метод осаждения, методы реологии и другие методы практически бесполезны для точного измерения структурных характеристик НДС и определения точки фазового пере-

хода. Они частично разрушают надмолекулярную структуру исследуемой системы, изменяют толщину и химический состав сольватной оболочки, а также вызывают диссоциацию или рекомбинацию некоторых соединений, существенно искажая характеристики исследуемой нефтяной системы. По мнению некоторых ученых, использование разрушающих методов является лишь первым шагом в изучении структуры превращения в НДС. Наиболее приемлемыми в этом отношении являются некоторые спектральные методы, а также различные виды микроскопов. Конечно, они не могут удовлетворить весь спектр исследований в области нефтяных дисперсных систем, но их вполне достаточно для целей данной работы.

В работах ученых рассматривается и развивается понятие о существовании и важной роли процесса структурирования жидкой фазы в процессе фазовых переходов в нефтяной дисперсной системе. Они подробно описывают механизмы и условия формирования и развития сложной структурной единицы (CSE), состоящей из ядра и сольватной оболочки. При определенных условиях отдельные компоненты нефтепродуктов могут быть использованы в качестве ядра CSE, которое изменяет структуру окружающего пространства, в результате чего образуется оболочка, называемая сольватной. Ее толщина может сильно меняться в зависимости от внешних факторов и растворяющей способности среды.

До недавнего времени большая часть работ, посвященных теории регулирования фазовых переходов в нефтяных системах, была экспериментальной, и только в последние десятилетия начала развиваться теоретическая база этих исследований. Была создана модель, описывающая молекулярные взаимодействия во многих нефтяных системах, что является чрезвычайно сложной задачей. Развитие теории и практики позволило точно объяснить механизм превращения нефтяной дисперсной системы, но, до недавнего времени, это было невозможно представить [4].

В состав нефти, как известно, входят парафины, нафтаны и ароматические углеводороды, а также смешанные углеводороды и гетероатомные соединения. Гетероатомные соединения могут включать атомы O, S, N и металлов. Присутствие этих атомов определяет полярность молекулы и ее ассоциацию с вышеупомянутыми молекулами углеводородов. Тяжелая нефтяная система также содержит высокомолекулярные парафины и полициклические ароматические углеводороды, смолы, асфальтены, карбены и карбиды. Эти углеводороды и их структурные образования составляют дисперсную фазу нефтяной системы и выражены в форме ассоциации или агрегативных комбинаций. Последний имеет хорошо развитую сольватную оболочку, включающую мономерные или полимерные углеводороды, природа и состав которых определяют величину и тип межмолекулярных взаимодействий при ассоциации или агрегативной комбинации, а также их прямое контактное взаимодействие друг с другом. Результатом этого взаимодействия является фазовое превращение, лежащее в основе переработки нефти.

Список литературы:

1. Куликов Д.В. Структурные фазовые переходы в процессах термолиза углеводородного сырья. – Уфа : УГНТУ, 2000. – 34 с.
2. Гриценко А.И., Александров И.А., Галанин И.А. Физические методы переработки и использования газа. – М. : ЮРАЙТ, 2021. – 224 с.
3. Брусиловский А.И. Теоретические основы фазовых превращений углеводородных смесей. – М. : ИЦ РГУ нефти и газа им. Губкина, 2010. – 579 с.
4. Разработка математической модели расчета установки регенерации метанола на адсорбентах (цеолитах) / А.А. Паранук [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2021. – № 8. – С. 33–36.

УДК 620.193

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В АНАЛИЗЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ПОТОКА РАСТВОРА НА СКОРОСТЬ КОРРОЗИИ

**Хуснуллин
Шамиль Рамилевич**

**Уфимский государственный нефтяной
технический университет**
студент
shamil.khusnullin15@gmail.com

**Коледина
Камила Феликсовна**

**Уфимский государственный нефтяной
технический университет**
доктор физико-математических наук, доцент
koledinakamila@mail.ru

**Алимбекова
Софья Робертовна**

**Научно-исследовательский институт
технических систем «Пилот»**
кандидат технических наук, заместитель директора
ms.sofia.al@gmail.com

Аннотация. При добыче нефти на месторождениях возникает проблема солеотложений в пласте и скважинах, что увеличивает расходы и влияет на работу оборудования. В данном исследовании предлагается разработка математических моделей для анализа эффективности применения технологии электромагнитного воздействия на солеотложения, с применением алгоритмов машинного обучения.

Ключевые слова: солеотложение, электромагнитное воздействие, машинное обучение, коррозия.

При добыче нефти на месторождениях возникает проблема солеотложений в пласте и скважинах, что увеличивает расходы и влияет на работу оборудования [1]. В данной работе предлагается разработка математических моделей для анализа эффективности применения технологии электромагнитного воздействия на процессы солеотложения и коррозию оборудования [2]. Экспериментальные исследования электромагнитного воздействия на процессы солеотложения и коррозии были проведены для воды Вынгапуровского и Приобского месторождений, а также для водопроводной воды. В качестве данных для обучения были использованы 3 группы данных, различающихся по составу изучаемого исходного модельного солевого раствора.

Анализируемые данные включали в себя информацию о составе растворов, условиях проведения исследований (скорость потока, давление температура), параметрах электромагнитных полей, воздействующих на растворы. Для каждой группы отчётов применялись различные модели, так как в каждой задаче различные входные и выходные данные.

Для решения поставленной задачи были применены следующие алгоритмы машинного обучения:

1. Линейная регрессия с регуляризацией Elastic Net

Это модель, которая строит линейную зависимость между целевой переменной и признаками: $\hat{y} = w_0 + w_1 * \mathbb{1}_1 + \dots + w_D * \mathbb{1}_D = \langle x, w \rangle + w_0$ [3]. Для нахождения оптимальных весов, которые бы минимизировали среднеквадратичную функцию потерь

$$MSE = \frac{1}{N} * \sum_i^N (y^i - \hat{y}^i)^2, \quad (1)$$

на практике используется метод градиентного спуска.

Для борьбы с переобучением применялся метод регуляризации «Elastic Net»: в функцию потерь добавляется 1-ая и 2-ая нормы весов w :

$$L(y, \hat{y}, w) = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (y^i - \hat{y}^i)^2 + \lambda_1 ||w||_1 + \lambda_2 ||w||_1^2, \quad (2)$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициенты регуляризации.

2. Метод k ближайших соседей

Суть метода заключается в следующем: предсказание \hat{y} для объекта \mathbb{Q} вычисляется как среднее значение целевой переменной y среди k его ближайших соседей:

$$\hat{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y^i \quad [4]. \quad (3)$$

Для нахождения расстояния между объектами используются различные метрики (функции расстояния):

$$\text{Евклидово расстояние } \rho(\mathbb{Q}, b) = \sqrt{\sum_i (\mathbb{Q}_i - b_i)^2} \quad (4)$$

$$\text{Манхэттенская метрика } \rho(\mathbb{Q}, b) = \sum_i |\mathbb{Q}_i - b_i| \quad (5)$$

$$\text{Косинусное расстояние } \rho(\mathbb{Q}, b) = 1 - \frac{a \cdot b}{|a||b|} \quad (6)$$

3. Решающие деревья

Решающее дерево предсказывает значение целевой переменной с помощью применения последовательности простых решающих правил (которые называются предикатами)

В каждом узле этого дерева находится предикат. Если предикат верен для текущего примера из выборки, мы переходим в правого потомка, если нет – в левого. Часто предикаты – это просто взятие порога по значению какого-то признака. В листьях записаны предсказания (например, значения целевой переменной y).

4. Случайный лес

Это ансамбль моделей (композиция нескольких алгоритмов), где в качестве базового алгоритма используются деревья решений. В основе этого метода лежит бэггинг (bagging, bootstrap aggregation) [5].

Суть метода в следующем: из исходной выборки получают k подвыборок той же размерности методом случайного выбора объектов. На каждой выборке обучается свое дерево решений, причем используются не все признаки объектов, а случайное количество.

Чтобы получить одно предсказание, усредняются предсказания всех моделей:

$$\hat{y}(\mathbb{Q}) = \frac{1}{k} (b_1(\mathbb{Q}) + \dots + b_k(\mathbb{Q})). \quad (7)$$

5. Нейронная сеть

Во всех трёх задачах применялись сети следующей архитектуры: входной слой из D (количество входных параметров) нейронов, скрытый слой, и выходной слой, состоящий из m нейронов, по размерности целевого вектора $y = (y_1, \dots, y_m)$ [6].

Для обеспечения нелинейности преобразований применялась функция активации

$$\text{ReLU}(\mathbb{Q}) = \max(\mathbb{Q}, 0). \quad (8)$$

Оценка качества моделей

Для того, чтобы определить, какая модель лучше всего аппроксимирует зависимость между признаками \mathbb{Q} и зависимыми переменными y , в задачах регрессии используются следующие критерии (метрики):

$$\text{Среднеквадратичная ошибка (MSE): } \text{MSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - \hat{y})^2 \quad (9)$$

$$\text{Коэффициент детерминации: } R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (10)$$

$$\text{Средняя абсолютная ошибка: } \text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y - \hat{y}| \quad (11)$$

Результаты применения моделей

В таблицах 1–3 приведены результаты применения моделей для трёх групп экспериментов.

Таблица 1 – Значения метрик для Вынгапуровского месторождения

Модель / Метрика	Линейная регрессия	Метод к ближайших соседей	Дерево решений	Случайный лес	Нейронная сеть
MSE	0.01453	0.0133	0.0064	0.0065	20.6408
MAE	0.0839	0.0757	0.0467	0.0478	3.2109
R2	–5.2844	–8.2677	0.3169	0.2266	–1.0221

Таблица 2 – Значения метрик для Приобского месторождения

Модель / Метрика	Линейная регрессия	Метод к ближайших соседей	Дерево решений	Случайный лес	Нейронная сеть
MSE	0.3073	0.2623	0.1435	0.1724	13.9461
MAE	0.2489	0.1972	0.1314	0.1724	2.4746
R2	–18.8724	–2.1167	0.5364	0.1113	–0.9355

Таблица 3 – Значения метрик для водопродной воды

Модель / Метрика	Линейная регрессия	Метод к ближайших соседей	Дерево решений	Случайный лес	Нейронная сеть
MSE	0.3232	0.2525	0.1799	0.1845	1.1029
MAE	0.4729	0.4022	0.3251	0.3362	0.8847
R2	–6.9638	–1.7114	0.0378	–0.0283	–4.3788

Как видно из результатов выше, дерево решений и случайный лес имеют наименьшие значения метрик MSE и MAE и значения R^2 , наиболее близкие к 1 во всех трёх задачах. Нейросети, напротив, имеют самые худшие показатели ошибок. Связано это с тем, что данных для обучения слишком мало.

Для такого числа данных для их анализа целесообразно использовать деревья решений и случайный лес. При увеличении количества наблюдений стоит перейти к использованию нейросетей, а также использовать иные архитектуры (с большим количеством скрытых слоёв, рекуррентные сети и т.д.).

Список литературы:

1. Влияние электромагнитного поля на коррозию низкоуглеродистой стали в водных минерализованных средах и на кристаллизацию карбоната кальция в присутствии ионов железа(II) / С.Р. Алимбекова [и др.] // SOCAR Proceedings Special Issue. – 2021. – № 1. – С. 116–124. – DOI: 10.5510/OGP2021SI100515.
2. Физические методы предупреждения солеотложения при нефтедобыче / С.Р. Алимбекова [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2019. – № 6. – С. 31–38. – DOI: 10.17122/ngdelo-2019-6-31-38
3. Weisberg S. Applied linear regression. – John Wiley & Sons, 2005. – Т. 528.
4. Sun S., Huang R. An adaptive k-nearest neighbor algorithm // 2010 seventh international conference on fuzzy systems and knowledge discovery / IEEE. – 2010. – Т. 1. – С. 91–94.
5. Чистяков С.П. Случайные леса: обзор // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2013. – № 1. – С. 117–136.
6. Горбачевская Е.Н. Классификация нейронных сетей // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2012. – № 2 (19). – С. 128–134.

УДК 551.509.61

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ
ИЗ НАНОСТРУКТУР ПРИ ДИСПЕРГИРОВАНИИ РЕАГЕНТОВ
В ПРИСУТСТВИИ ВОДЯНОГО ПАРА****Хучунаев
Бузигит Муссаевич****Высокогорный геофизический институт**
доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией
buzgigit@mail.ru**Геккиева
Сафият Омаровна****Высокогорный геофизический институт**
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник отдела физики облаков
sgekkieva@list.ru**Будаев
Алим Хадисович****Высокогорный геофизический институт**
младший научный сотрудник отдела физики облаков
budayalim@yandex.ru

Аннотация. В работе приведены результаты исследования особенностей образования кластеров из наноструктур при диспергировании реагентов в присутствии водяного пара. Создан комплекс аппаратуры и разработана методика проведения экспериментов. Проведены серии лабораторных экспериментов по получению кластеров из наноструктур в присутствии водяного пара при отрицательных температурах в большой облачной камере. В ходе лабораторных экспериментов получено, что кластеры, полученные при термической возгонке, имеют 3 вида – эллипсоиды или сфероиды, пластины, аэрогель. При больших водностях размер кластеров из наноструктур изменяется от 10 нм до 50 мкм. При малых водностях в большом количестве образуются кластеры размерами до 600 мкм. Размеры нанотрубок, из которых состоят кластеры, составляют 1–5 нм.

Ключевые слова: реагент, кластеры, наноструктуры, возгонка, цинк, оксид цинк, облачная камера, температура, водяной пар.

Оксид цинка, как и иодид серебра, обладает льдообразующими и конденсационными свойствами. Он способен формировать наноструктуры различных размеров. Они служат ядрами конденсации и кристаллизации облачных частиц. Так как в практике активных воздействий на облачные процессы имеет большое значение усовершенствование состава существующих и разработка новых реагентов, то актуальной задачей является изучение формирования кластеров из наноструктур оксидов металлов в присутствии водяного пара.

Наноструктуры оксидов металлов имеют характеристики, отличные от тех, которые имеются у частиц оксидов металлов, размеры которых превышают наноуровень. Считается, что это связано большой удельной площадью поверхности наноструктур. Это улучшает такие характеристики, как каталитическая реакция и высокая эффективность химической реакции, существенное снижение температуры плавления и т.д. [1].

В зависимости от условий синтеза оксид цинка формирует большое число качественно отличающихся стабильных наночастиц (рис. 1).

Для получения кластеров в среде водяного пара и их изучения разработан комплекс аппаратуры, в состав которого входят большая облачная камера, ультразвуковой парогенератор, устройство для возгонки реагента, электронные весы, предметные стекла, оптический микроскоп, электронный микроскоп.

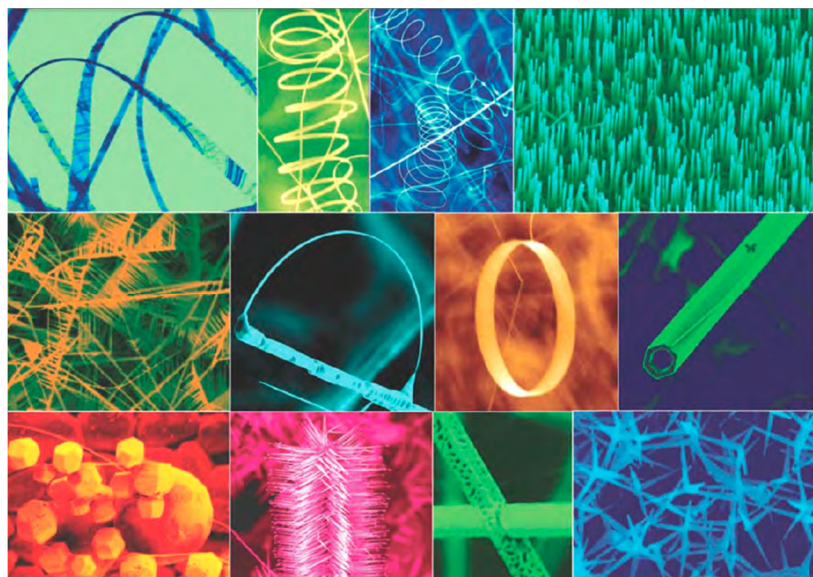


Рисунок 1 – Наноструктуры оксида цинка [2]

В ранних работах авторов [3, 4] была разработана и апробирована методика получения и исследования наноструктур. В данной работе представлено описание усовершенствованной методики проведения экспериментов. Определенное количество опытного образца (цинк) закладывается на графитовую подложку устройства для возгонки реагента. Большая камера охлаждается до заданной температуры, с помощью ультразвукового парогенератора в камере создается искусственная облачная среда. На контакты графитовой подложки подается ток порядка 100–120А, происходит высокотемпературная возгонка цинка. После чего воздух в камере перемешивается вентиляторами. Происходит осаждение кластеров из наноструктур оксида цинка на предметные стекла, которые извлекаются из камеры и изучаются под микроскопом.

На рисунке 2 представлены изображения полученных образцов кластеров из наноструктур оксида цинка под оптическим микроскопом.



Рисунок 2 – Кластеры из наноструктур оксида цинка под оптическим микроскопом

При возгонке реагентов в присутствии водяного пара образуются кластеры, образование которых зависит от влажности в камере и температуры. При больших влажностях размер кластеров из наноструктур изменяется от 10 нм до 50 мкм. При малых влажностях в большом количестве образуются кластеры размерами до 600 мкм.

Кластеры, полученные при термической возгонке, имеют 3 вида. Наибольшее количество кластеров имеет вид сферы или эллипсоида и состоит из открытых нанотрубок. Некоторая часть кластеров состоит из пластин, которые упакованы параллельно друг другу. Третий вид кластеров из нанотрубок оксида цинка представляет собой структуру подобную аэрогелю.

Размеры нанотрубок, из которых состоят кластеры, составляют 1–5 нм. На рисунке 3 показана фотография кластера из наноструктур оксида цинка под электронным микроскопом.

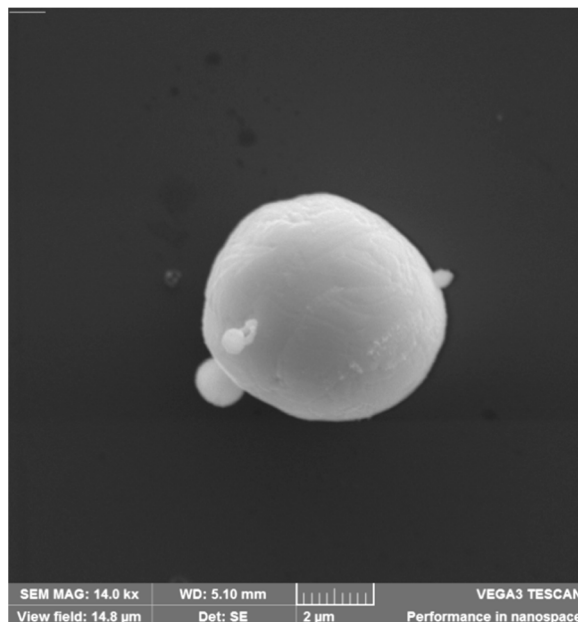


Рисунок 3 – Кластер из наноструктур оксида цинка

На рисунке 4 приводится фотография кристалла льда, образованного на поллой структуре оксида цинка, под оптическим микроскопом.

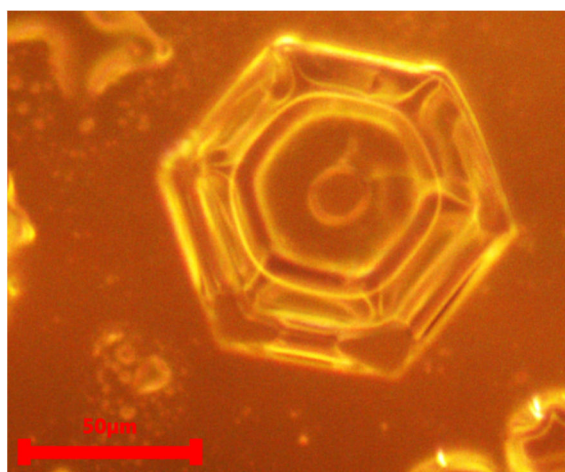


Рисунок 4 – Кристалл льда

Анализ литературных данных показывает, что свойства воды сильно зависят от диаметра нанотрубки. При изменении диаметра нанотрубки от 1,05 до 1,52 нм температура фазового перехода воды от жидкого состояния в льдоподобное изменяется от +13 до +138 °С [5–7]. Такую точность измерения метрологически невозможно обеспечить. Что касается кластеров из наноструктур, при использовании современных электронных микроскопов с большой точностью можно измерить их размеры. При этом электронный микроскоп необходимо поверять согласно [8].

Выводы

Оксид цинка обладает льдообразующими и конденсационными свойствами и способен формировать наноструктуры различных размеров. Они служат ядрами конденсации и кристаллизации облачных частиц.

Создан комплекс аппаратуры, разработана методика и проведены серии лабораторных экспериментов по получению кластеров из наноструктур в присутствии водяного пара. Образующиеся кластеры, имеют 3 вида – эллипсоиды или сфероиды, пластины, аэрогель. При больших водностях размер кластеров из наноструктур изменяется от 10 нм до 50 мкм. При малых водностях в большом количестве образуются кластеры размерами до 600 мкм. Размеры нанотрубок, из которых состоят кластеры, составляют 1–5 нм.

Список литературы:

1. Huang J. Zinkoxid-Dünnschichttransistoren mittels Hochfrequenz-Magnetron-Kathodenzerstäubung: Doctoral Thesis. – Nürnberg, 2014. – 146 p.
2. Wang Z.L. Zinc Oxide Nanostructures: Growth, Properties and Applications // *Journal of Physics: Condensed Matter*. – 2004. – June 30. – Vol. 16. – № 25. – P. 829–858.
3. Исследование льдообразующих и конденсационных свойств кристаллогидратов KI, нанотрубок AgI и ZnO и оценка возможности их использования для искусственного вызывания осадков // Отчет о НИР (заключительный) по ФГБУ «ВГИ». – Нальчик, 2016. – 60 с.
4. Исследование льдообразующих свойств нанотрубок оксида цинка / Б.М. Хучунаев [и др.] // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион*. – 2018. – № 4 – С. 111–115.
5. Pascal T.A., Goddard W.A., Jung Y. Entropy and The Driving Force For the Filling of Carbon Nanotubes with Water // *Proc. Natl. Acad. Sci. – USA*, 2011. Jul 19. – 108(29):11794-8. – doi: 10.1073/pnas.1108073108. – Epub 2011 Jun 27. – PMID: 21709268; PMCID: PMC3141970.
6. Observation of Extreme Phase Transition Temperatures of Water Confined Inside Isolated Carbon Nanotubes / K. Agrawal [et al.] // *Nature*. – 2017. – № 2. – P. 267–273. – URL : <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.254>
7. Shayeganfar F, Beheshtian J. and Shahsavari R. First-Principles Study of Water Nanotubes Captured Inside Carbon/Boron Nitride Nanotubes // *Langmuir*. – 2018. – V. 34. – № 37. – P. 11176–11187. – URL : <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00856>
8. ГОСТ 8.594-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые. Методика поверки ГОСТ 8.594-2009 ГСИ. Микроскопы электронные растровые. Методика поверки. – Введ. 2010-04-05. – М. : Стандартинформ, 2010. – 11 с.

УДК 551.509.61

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
НА ОБРАЗОВАНИЕ КЛАСТЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ
ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОЗГОНКЕ РЕАГЕНТОВ****Хучунаев
Бузигит Муссаевич****Высокогорный геофизический институт**
доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией
buzgigit@mail.ru**Геккиева
Сафият Омаровна****Высокогорный геофизический институт**
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник отдела физики облаков
sgekkieva@list.ru**Будаев
Алим Хадисович****Высокогорный геофизический институт**
младший научный сотрудник отдела физики облаков
budayalim@yandex.ru

Аннотация. В работе приведены результаты исследования влияния электрического поля на образование кластеров из наноструктур оксида цинка, полученных при возгонке нового льдообразующего реагента на основе кластеров, состоящих из нанотрубок.

Создан комплекс аппаратуры и разработана методика проведения экспериментов. Проведены лабораторные эксперименты, которые показали, что электрическое поле влияет на размеры наноструктур. Кластеры имеют очень рыхлую структуру и под действием электрического поля напряженностью до $1,5 \cdot 10^4$ В/м разрушаются, образуя несколько наноструктур. При напряженности электрического поля более $1,5 \cdot 10^4$ В/м меняется структура воды в кластерах.

Ключевые слова: реагент, кластеры, возгонка, электричество, электрическое поле, цинк, оксид цинка, реагент, облачная камера, температура, водяной пар.

Проведение работ по активным воздействиям (АВ) на облачные процессы требует решения целого ряда вопросов, в частности, какие реагенты необходимо использовать, чтобы добиться оптимального успеха [1, 2].

Одним из ключевых моментов АВ на облачные процессы является влияние электрических характеристик облачной среды на процессы образования взаимодействия частиц льдообразующего реагента с каплями водяного пара.

Необходимо отметить, что во время внесения в облако реагента его частицы приобретают электрический заряд, который взаимодействует с электрическим полем облака. Частица приобретает заряд за счет диффузии и контактного механизма [3].

Экспериментальные исследования проводятся по определенной методике, выработанной в ходе работы [4, 5].

Для изучения влияния электрического поля на образование кластеров из наноструктур оксида цинка создан комплекс аппаратуры, в состав которого входят большая облачная камера, пластины плоского конденсатора, высоковольтный выпрямитель, устройство для возгонки реагента, ультразвуковой парогенератор, весы, электронные весы, подложки, оптический микроскоп, электронный микроскоп.

Предварительно на электронных весах взвешивается определенное количество реагента. Он загружается на подложку устройства для возгонки реагента. На дно большой облачной камеры устанавливаются термостатированные подложки, накрытые крышками. В камере с помощью ультразвукового парогенератора создается искусственная облачная среда.

На пластины конденсатора подается высокое напряжение с высоковольтного выпрямителя. На устройство для возгонки подается ток, происходит возгонка реагента. После возгонки воздух в камере перемешивается вентилятором и поочередно открывают подложки и осаждают продукты возгонки и образующиеся ледяные кристаллы. Каждая подложка изучается в поле оптического и электронного микроскопов.

Эксперименты показали, что электрическое поле существенным образом влияет на размеры наноструктур. Кластеры из наноструктур имеют очень рыхлую структуру и под действием электрического поля напряженностью до $1,5 \cdot 10^4$ В/м разрушаются, образуя несколько наноструктур.

При напряженности электрического поля более $1,5 \cdot 10^4$ В/м меняется структура воды в кластерах. Здесь необходимо отметить, что внешние электрические поля усиливаются нанотрубками [6].

На рисунке 1 приведена фотография кластеров из наноструктур оксида цинка, полученных при значении электрического поля $7,5 \cdot 10^3$ В/м, сделанная на электронном микроскопе.

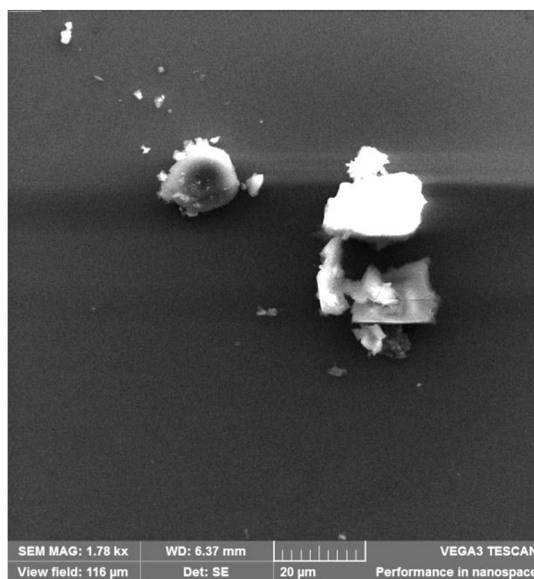


Рисунок 1 – Нанокластер оксида цинка, $E = 7,5 \cdot 10^3$ В/м

На фотографии видны наноструктуры, образовавшиеся при разрушении рыхлого кластера из наноструктур оксида цинка.

На рисунке 2 приведена фотография кластера из наноструктур оксида цинка, полученных при напряженности электрического поля $1,5 \cdot 10^5$ В/м.

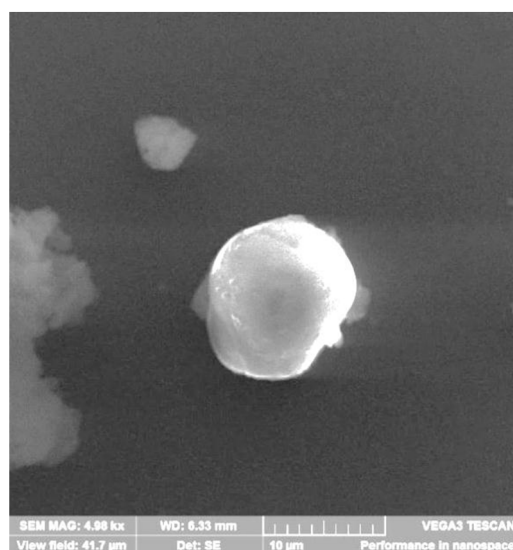


Рисунок 2 – Кластер из наноструктур оксида цинка, $E = 1,5 \cdot 10^5$ В/м

На рисунке 3 приведены фотографии ледяных кристаллов, полученных в большой облачной камере при возгонке цинка.

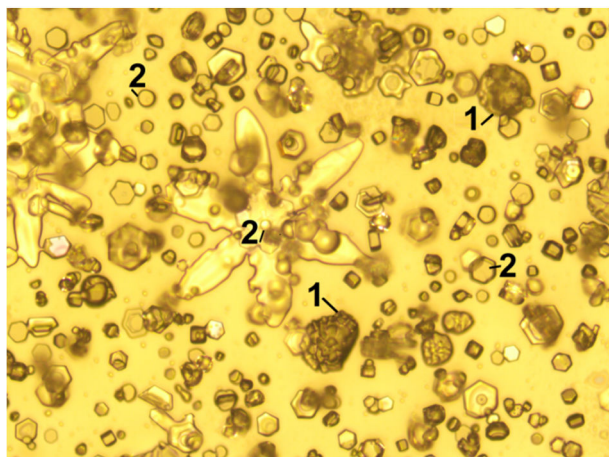


Рисунок 3 – Ледяные кристаллы, образованные на наноструктурах, подобных аэрогелю (1), на полых наноструктурах (2)

Выводы

При внесении реагента в облако его частицы приобретают электрический заряд, который взаимодействует с электрическим полем облака. Частица реагента приобретает заряд за счет диффузии и контактного механизма.

В результате исследования влияния электрического поля на образование кластеров, получено, что электрическое поле существенным образом влияет на размеры наноструктур. Кластеры из наноструктур имеют очень рыхлую структуру и под действием электрического поля напряженностью до $1,5 \cdot 10^4$ В/м разрушаются, образуя несколько наноструктур.

При напряженности электрического поля более $1,5 \cdot 10^4$ В/м меняется структура воды в кластерах. Здесь необходимо отметить, что внешние электрические поля усиливаются нанотрубками.

Список литературы:

1. Bedritsky A., Chernikov A. Cloud Seeding to Protect Moscow from Rain on 9 May 1995 // WMO bulletin. – 1996. – Vol. 45. – № 1. – P. 60–64.
2. Активные воздействия на облака и осадки в Санкт-Петербурге во время Саммита глав государств и правительств «Группы восьми правительств» / Г.Г. Щукин [и др.] // Труды ГГО. – 2007. – Вып. 556. – С. 215–229.
3. Синькевич А.А., Довгальюк Ю.А., Степаненко В.Д. Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния коронного разряда на электризацию частиц и фазовые переходы воды в облаках (обзор работ ГГО) // 50 лет отделу физики облаков ГГО. Сборник избранных статей ГГО. – СПб. : Астерион, 2008.
4. Вопросы физики облаков. Облака, осадки и грозное электричество. – СПб. : Гидрометеиздат, 2004. – С. 109–123.
5. Хучунаев Б.М., Геккиева С.О. Экспериментальные исследования влияния электрического поля на процессы образования ледяной фазы на частицах реагента // Фундаментальные и прикладные исследования: актуальные проблемы и достижения : материалы Межд. науч. конф. – СПб, 2020. – С. 107–110.
6. Хучунаев Б.М., Геккиева С.О., Будаев А.Х. Исследования влияния напряженности электрического поля на электрические заряды частиц оксида цинка, образующихся при возгонке цинка в парообразной среде // Международная научная конференция «Наука. Исследования. Практика». Сборник избранных статей (26 августа 2022 г.). – СПб. : ГНИИ «Нацразвитие», 2022. – С. 16–20. – DOI: 10.37539/AUG304.2022.63.50.001
7. Jinesh K.B., Frenken J.W.M. Experimental Evidence for Ice Formation at Room Temperature // Physical Review Letters 101, 036101 (2008) pp. 036101-1- 036101-4.

УДК 622.276.031:53(075)

РАЗРАБОТКА ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТОГО ПЛАСТА ДВОЙНОЙ ПОРИСТОСТИ С ЗОНАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ СИСТЕМЫ ТРЕЩИН СКВАЖИНОЙ С ПОСТОЯННЫМ ДЕБИТОМ**Шарнов
Александр Иванович****Армавирский механико-технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет»**
кандидат технических наук, доцент
a.i.sharnov@mail.ru**Курдагия
Нугзар Эльдарович****Армавирский механико-технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический
университет»**
студент
kurdagia.nugzar@yandex.ru

Аннотация. Получено точное решение задачи разработки ограниченного открытого трещиновато-пористого пласта двойной пористости с зональной неоднородностью системы трещин центральной скважиной с постоянным отбором жидкости.

Ключевые слова: разработка, ограниченный трещиновато-пористый пласт, зональная неоднородность, коллектор, скважина, постоянный дебит.

Роль карбонатных трещиноватых коллекторов в современной нефтяной индустрии постоянно растёт. Разработка нефтяных залежей с трещиноватыми коллекторами характеризуется рядом специфических особенностей. Поэтому совершенствование технологии разработки залежей с трещиноватыми коллекторами требуют всестороннего изучения в них механизмов фильтрации и развитие методов математического моделирования течения флюида.

В настоящей работе рассматривается задача о фильтрации однофазной слабо сжимаемой жидкости в трещиновато-пористой среде на основе классической модели среды двойной пористости [1].

Пусть нефтяное месторождение с трещиновато-пористым типом коллектора разрабатывается совершенной по характеру и степени вскрытия скважиной радиуса R_c и на некотором расстоянии R_k от скважины имеет место определенное граничное условие, обусловленное процессом кольматации призабойной зоны скважины или выносом песка.

Предположим, что трещиновато-пористый пласт с непроницаемой кровлей и подошвой, первоначально находившийся в невозмущенном состоянии под давлением P_0 , состоит из двух концентрично расположенных зон с различными значениями проницаемости систем трещин. Эксплуатационная скважина расположена в центре пластовой системы, изображенной на рисунке. Причем, призабойная зона скважины радиуса $R_c \leq r \leq R_k$, имеет проницаемость трещин $k_1^{(2)}$, а оставшаяся часть пласта, имеет проницаемость трещин $k_2^{(2)}$. Проницаемость систем блоков и свойства пластовой жидкости в указанных частях пласта принимаются одинаковыми, то есть $k_1^{(1)} = k_2^{(1)}$, $\mu_1 = \mu_2$.

Задача заключается в нахождении перераспределения давления в указанных частях пласта в произвольный момент времени его разработки в предположении, что дебит скважины является постоянным в течение всего процесса разработки.

В соответствии с теорией фильтрации однородной жидкости в трещиновато-пористых средах с двойной пористостью [1, 2] математически задача сводится к интегрированию полной системы дифференциальных уравнений, описывающих движение жидкости во внутренней и внешней зоне пласта:

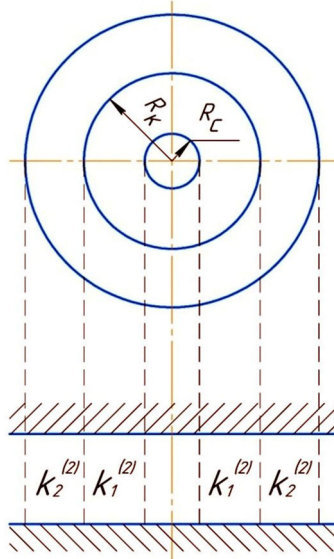


Рисунок – Схематическое изображение пластовой системы с зональной неоднородностью системы трещин

$$\begin{aligned} \frac{1+n_1}{n_1} \nabla^2 \phi_2 + \frac{1}{\lambda} \left(1 - \omega + \frac{\omega}{n_1}\right) \frac{\partial}{\partial \tau} (\nabla^2 \phi_1) - \omega \frac{1-\omega}{\lambda} \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial \tau^2} &= \frac{\partial \phi_1}{\partial \tau}; \\ \frac{1+n_2}{n_2} \nabla^2 \phi_1 + \frac{1}{\lambda n_3} \left(1 - \omega + \frac{\omega}{n_3}\right) \frac{\partial}{\partial \tau} (\nabla^2 \phi_2) - \omega \frac{1-\omega}{\lambda n_3} \frac{\partial^2 \phi_2}{\partial \tau^2} &= \frac{1}{n_3} \frac{\partial \phi_2}{\partial \tau}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь введены обозначения:

$$\begin{aligned} \phi_i(\xi, \tau) &= \frac{P_0 - P_i^{(2)}(\xi, \tau)}{P_0 - P_c}, \quad \xi = \frac{r}{R_K}, \quad \tau = \frac{k_1^{(2)} t}{\mu R_c^2 (\beta_{1,i}^* + \beta_{2,i}^*)}, \\ \beta_{j,i}^* &= m_{j,i} \beta_{j,i} + \beta_{j,i}, \quad n_1 = \frac{k_1^{(2)}}{k_1^{(1)}}, \quad n_2 = \frac{k_2^{(2)}}{k_2^{(1)}}, \quad n_3 = \frac{k_2^{(2)}}{k_1^{(1)}}, \\ \omega &= \beta_{2,i} (\beta_{1,i}^* + \beta_{2,i}^*)^{-1}, \quad \lambda = \alpha R_c^2 \frac{k_i^{(1)}}{k_i^{(2)}}, \quad i = 1, 2; \quad j = 1, 2. \end{aligned}$$

Верхние индексы в функциях давления и параметрах пласта относятся к системе блоков ($i = 1$) и трещин ($i = 2$) среды, а нижние к принятым зонам среды. Остальные обозначения являются общепринятыми в теории упругого режима.

Согласно постановке задачи систему уравнений (1) необходимо проинтегрировать при следующих нулевом начальном, контактных и краевых условиях

$$\phi_i(\xi, 0) = 0, \quad 1 \leq \xi \leq \xi_1, \quad i = 1, 2; \quad (2)$$

$$\phi_1(\xi_0, \tau) = \phi_2(\xi_0, \tau); \quad \frac{\partial}{\partial \xi} \phi_1(\xi_0, \tau) = n_3 \frac{\partial}{\partial \xi} \phi_2(\xi_0, \tau); \quad (3)$$

$$\lim_{\xi \rightarrow 0} \left(\xi \frac{\partial \phi_1^{(2)}(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right) = -1; \quad (4)$$

$$\lim_{\xi \rightarrow 0} \left(\frac{\partial \phi_2^{(2)}(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right) = 0, \quad (5)$$

где $\xi_0 = \frac{R_0}{R_c}$, $\xi_1 = \frac{R_K}{R_c}$, $\phi_i^{(j)} = \frac{2\pi k_1^{(2)} h}{\mu q} [P_0 - p_i^{(j)}(\xi, \tau)]$, $i = 1, 2; \quad j = 1, 2$.

Применяя интегральное преобразование Лапласа по переменному времени к уравнениям (1) с учетом начальных условий (2) можно получить

$$\begin{aligned} \nabla^2 \bar{\phi}_2(\xi, s) - s f_1(s) \bar{\phi}_1(\xi, s) &= 0; \\ \nabla^2 \bar{\phi}_1(\xi, s) - s f_2(s) \bar{\phi}_2(\xi, s) &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} f_1(s) &= \frac{\omega(1-\omega)s + \lambda}{\left(1-\omega + \frac{\omega}{n_1}\right)s + \lambda \frac{1+n_3}{n_3}}; \\ f_2(s) &= \frac{\omega(1-\omega)s + \lambda n_3}{\left(1-\omega + \frac{\omega}{n_3}\right)s + \lambda n_3 \frac{1+n_3}{n_3}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Общие решения уравнений (6) имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{\phi}_1(\xi, s) &= A_1 I_0(\xi \sqrt{s f_1(s)}) + B_1 K_0(\xi \sqrt{s f_1(s)}); \\ \bar{\phi}_2(\xi, s) &= A_2 I_0\left(\xi \sqrt{\frac{s f_2(s)}{n_3}}\right) + B_2 K_0\left(\xi \sqrt{\frac{s f_2(s)}{n_3}}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

где неизвестные коэффициенты A_i, B_i ($i = 1, 2$) являются функциями преобразования s и подлежат определению посредством контактных (3) и граничных (4), (5) условий.

Для нахождения названных коэффициентов можно воспользоваться работой Херста [3], согласно которой при действии в пласте стока постоянной интенсивности можно принять $A_1 = 1$ и тем самым вывести из рассмотрения условие (4). Тогда, для нахождения оставшихся неизвестных, следует пользоваться преобразованными по Лапласу условиями (3), (4), (5), что позволяет получить нижеследующую систему алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов:

$$\begin{aligned} B_1 I_1(\xi \sqrt{S_2}) - A_2 K_0(\xi_0 \sqrt{S_2}) - B_0 I_0(\xi \sqrt{S_2}) &= -K_0(\xi_1 \sqrt{S_1}); \\ B_1 I_1(\xi_0 \sqrt{S_1}) + A_2 \sqrt{n_3 s} K_1(\xi_0 \sqrt{S_2}) - B_2 \sqrt{n_3 s} I_1(\xi_0 \sqrt{S_2}) &= K_1(\xi_0 \sqrt{S_1}); \\ A_2 K_1(\sqrt{S_1}) - B_2 I_1(\sqrt{S_2}) &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

где $S_1 = s f_1(s)$, $S_2 = s f_2(s)/n_3$ определяются соотношениями (7).

Решая полученную систему уравнений (9) относительно неизвестных коэффициентов и подставляя полученные их выражения в (8) решение задачи в трансформанте Лапласа нетрудно представить в виде:

$$\begin{aligned} \bar{\phi}_1(\xi, s) &= \frac{1}{s} K_0(\xi \sqrt{S_1}) + \frac{1}{s} I_0(\xi \sqrt{S_1}) \times \\ &\times \left[K_1(\xi_0 \sqrt{S_1}) M_{01}^+(\xi_0 \sqrt{S_2}, \sqrt{S_2}) - \sqrt{n_3 s} K_0(\xi_0 \sqrt{S_1}) M_{11}^-(\sqrt{S_2}, \xi_0 \sqrt{S_2}) \right] \times \\ &\times \left[I_1(\xi_0 \sqrt{S_1}) M_{01}^+(\xi_0 \sqrt{S_2}, \sqrt{S_2}) + \sqrt{n_3 s} I_0(\xi_0 \sqrt{S_1}) M_{11}^-(\sqrt{S_2}, \xi_0 \sqrt{S_2}) \right]^{-1}; \\ \bar{\phi}_2(\xi, s) &= \frac{1}{s} M_{01}^+(\xi_1 \sqrt{S_1}, \xi_0 \sqrt{S_2}) M_{01}^+(\xi \sqrt{S_2}, \sqrt{S_2}) \times \\ &\times \left[I_1(\xi_0 \sqrt{S_1}) M_{01}^+(\xi_0 \sqrt{S_2}, \sqrt{S_2}) + \sqrt{n_3 s} I_0(\xi_0 \sqrt{S_1}) M_{11}^-(\sqrt{S_2}, \xi_0 \sqrt{S_2}) \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

где $M_{\alpha, \beta}^{\pm}(x, y) = I_{\alpha}(x) K_{\beta}(y) \pm I_{\beta}(y) K_{\alpha}(x)$.

Для нахождения точного решения, применимого во всем диапазоне изменения безразмерного времени t следует осуществить переход к оригиналу в (10) с учетом также и корней уравнения, получаемого приравнением к нулю знаменателя (10). Обозначим эти корни через β_m^2 , ($m = 1, 2, \dots$) являются корнями уравнения

$$J_0(\xi_0\beta)N_{11}(\beta) - \frac{1}{\sqrt{n_3}} J_1(\xi_0\beta)N_{01}(\beta) = 0, \quad (11)$$

где $N_{\alpha,\nu}(\beta) = J_\nu\left(\frac{\beta}{\sqrt{n_3}}\right)Y_\alpha\left(\frac{\xi_0\beta}{\sqrt{n_3}}\right) - J_\alpha\left(\frac{\xi_0\beta}{\sqrt{n_3}}\right)Y_\nu\left(\frac{\beta}{\sqrt{n_3}}\right) = 0$, $J_\nu(x)$, $Y_\nu(x)$ – функции Бесселя от действительных аргументов соответственно первого и второго родов порядка ν .

При получении уравнения (11) были использованы известные соотношения между функциями Бесселя от комплексного и действительного аргументов [4–6].
Учитывая, что для больших значений t

$$f_1(s) = f_2(s) = f(s) = \frac{\omega(1-\omega)s + \lambda n_3}{\left(1 - \omega + \frac{\omega}{n_2}\right)s + \lambda n_3 \frac{1+n_2}{n_2}}$$

и разлагая правые части изображений (10) в бесконечный ряд по корням их знаменателей можно получить:

$$\begin{aligned} \bar{\phi}_1(\xi, s) &= \bar{\phi}_1^*(\xi, s) - 2 \sum_{m=1}^{\infty} B_m \frac{1}{S[sf(s) + \beta_m^2]}; \\ \bar{\phi}_2(\xi, s) &= \bar{\phi}_2^*(\xi, s) - 2 \sum_{m=1}^{\infty} C_m \frac{1}{S[sf(s) + \beta_m^2]}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$B_m = \frac{J_0(\xi\beta_m)}{\xi_0^2 \frac{1-n_3}{n_3} J_1^2(\xi_0\beta_m) - \frac{4n_3}{\pi^2\beta_m^2} \frac{J_0^2(\xi_0\beta_m)}{N_{10}^2(\beta_m)}};$$

где

$$C_m = \frac{Y_0\left(\frac{\xi\beta_m}{\sqrt{n_3}}\right)J_1\left(\frac{\beta_m}{\sqrt{n_3}}\right) - J_0\left(\frac{\xi\beta_m}{\sqrt{n_3}}\right)Y_1\left(\frac{\beta_m}{\sqrt{n_3}}\right)}{\xi_0^2 \frac{1-n_3}{n_3} N_{10}^2(\beta_m) \frac{J_1^2(\xi_0\beta_m)}{J_0^2(\xi_0\beta_m)} - \frac{4n_3}{\pi^2\beta_m^2} \frac{J_0(\xi_0\beta_m)}{J_0(\xi_0\beta_m)}}.$$

Осуществляя переход к оригиналу в изображениях (12) по корням $s_k(\beta_m)$, ($k = 1, 2$) квадратного уравнения

$$\omega(1-\omega)s^2 + \left[\lambda n_3 + \left(1 - \omega + \frac{\omega}{n_2}\right)\beta_m^2 \right]s + \lambda n_3 \varepsilon_2 \beta_m^2 = 0$$

можно получить:

$$\begin{aligned} \phi_1(\xi, \tau) &= \phi_1^*(\xi, \tau) - 2 \sum_{m=1}^{\infty} B_m \frac{D_m(\omega, \lambda, \tau)}{\delta(\beta_m)}; \\ \phi_2(\xi, \tau) &= \phi_2^*(\xi, \tau) - 2 \sum_{m=1}^{\infty} C_m \frac{D_m(\omega, \lambda, \tau)}{\delta(\beta_m)}, \end{aligned} \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} \phi_1^*(\xi, \tau) &\approx 2\varepsilon_2\tau + \left[\frac{1-\omega + \frac{\omega}{n_2}}{\lambda\varepsilon_2 n_3} - \omega(1-\omega) \right] \frac{2\omega(1-\omega)\varepsilon_2}{\lambda n_3} + \left[1 - \exp\left(\frac{-\lambda n_3 \tau}{\omega(1-\omega)}\right) \right] + \\ &+ \ln \frac{\xi_0}{\xi} + \frac{\xi^2}{2} - \frac{1}{n_3} \left(\ln \xi_0 + \frac{3}{4} \right) + \frac{1-n_3}{n_3} \left(\xi_0^2 - \frac{\xi_1^4}{4} \right); \\ \phi_2^*(\xi, \tau) &\approx 2\varepsilon_2\tau + \left[\frac{1-\omega + \frac{\omega}{n_2}}{\lambda\varepsilon_2 n_3} - \omega(1-\omega) \right] \frac{2\omega(1-\omega)\varepsilon_2}{\lambda n_3} + \left[1 - \exp\left(\frac{-\lambda n_3 \tau}{\omega(1-\omega)}\right) \right] + \\ &+ \frac{1}{n_3} \left(\frac{\xi^2}{2} - \ln \xi - \frac{3}{4} \right) + \frac{1-n_3}{n_3} \left(\frac{\xi_0^2}{2} - \frac{\xi_1^4}{4} \right), \end{aligned}$$

а также

$$\begin{aligned} D_m(\omega, \lambda, \tau) &= \sum_{k=1}^2 (-1)^k \left[\frac{\lambda n_3 \varepsilon_2}{s_k(\beta_m)} - \left(1 - \omega + \frac{\omega}{n_2} \right) \right] \exp[-s_k(\beta_m)\tau], \\ \delta(\beta_m) &= \left\{ \left[\lambda n_3 + \left(1 - \omega + \frac{\omega}{n_2} \right) \beta_m^2 \right]^2 - 4\lambda\omega(1-\omega)\varepsilon_2\beta_m^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

Таким образом, формулы (13) являясь точными решениями задачи (1) – (5), описывают процесс перераспределения давления в произвольных точках зонально-неоднородного по проницаемости системы трещин трещиновато-пористого пласта двойной пористости в любой момент времени действия в нем линейного стока постоянной интенсивности.

Следует отметить, что решение соответствующей задачи для пористого пласта трудно получить из изображений (12) при $\omega = 1$ и $f(s) = 1$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} \phi_1(\xi, \tau) &= 2\tau + \ln \frac{\xi_0}{\xi} + \frac{\xi^2}{2} - \frac{1}{n_3} \left(\ln \xi_0 + \frac{3}{4} \right) + \frac{1-n_3}{n_3} \left(\xi_0^2 - \frac{\xi_0^4}{4} \right) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{B_m}{\beta_m^2} e^{-\beta_m^2 \tau}; \\ \phi_2(\xi, \tau) &= 2\tau + \frac{1}{n_3} \left(\frac{\xi^2}{2} - \ln \xi_0 - \frac{3}{4} \right) + \frac{1-n_3}{n_3} \left(\frac{\xi_0^2}{2} - \frac{\xi_0^4}{4} \right) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{C_m}{\beta_m^2} e^{-\beta_m^2 \tau}. \end{aligned} \quad (14)$$

Анализ формул, полученных как для трещиновато-пористых, так и для пористых пластов, показывает, что при достаточно больших значениях времени разработки экспоненциальные слагаемые в них становятся пренебрежимо малыми и дальнейшее понижение давления на различных круговых сечениях оказываются линейными во времени. При этом разность перепадов давлений между трещиновато-пористым и пористым пластами определится выражением

$$\phi_1(\xi, \tau) - \phi_1(\xi, \tau) \Big|_{\omega=1} = \frac{2\tau}{n_2} + \frac{2\omega(1-\omega)\varepsilon_2}{\lambda n_3} \left[\frac{1-\omega + \frac{\omega}{n_2}}{\lambda\varepsilon_2 n_3} - \omega(1-\omega) \right]. \quad (15)$$

Ввиду того, что формула (15) получена для больших значений времени τ , то отбрасывая второе слагаемое в правой ее части с достаточной степенью точности можно принять:

$$\phi_1(\xi, \tau) - \phi_1(\xi, \tau) \Big|_{\omega=1} \approx \frac{2\omega}{n_2} \tau^*, \quad (16)$$

где $\tau^* = \frac{k_1^{(2)} t}{\mu R_c^2 \beta_2^*}.$

В заключение отметим, что формулы, полученные для зонально-неоднородных пластов, позволяют при $n_3 = 1$ получить соответствующие формулы для определения давления в однородных по проницаемости пластах при действии в них стока постоянной интенсивности.

Разработанная математическая модель позволяет:

- прогнозировать поведение фильтрационных параметров в процессе разработки месторождений углеводородов;
- планировать решения по применению методов улучшения фильтрационных характеристик призабойной зоны скважины;
- оперировать конкретными параметрами трещиновато-пористого пласта.

Список литературы:

1. Баренблатт Г.И., Желтов Ю.П., Кочина И.Н. Об основных представлениях теории фильтрации в трещиноватых средах // Прикл. математика и механика. – 1960. – Т. 24. – Вып. 5. – С. 852–864.
2. Шарнов А.И. Постановка задач плоскорадиальной фильтрации в гетерогенном по проницаемости трещиновато-пористом пласте // Наука и технологии в нефтегазовом деле. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного технологического университета и 25-летию кафедры машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов Армавирского механико-технологического института. – 2018. – С. 156–158.
3. Hurst W. Interference Between Oil Fields. Trans // AIME. – 1960. – Vol 219. – P. 175–192.
4. Лаврентьев М.А., Шабат В.В. Методы теории функций комплексной переменной. – М. : Наука, 1973. – 736 с.
5. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М. : Физматгиз, 1963. – 1100 с.
6. Диткин В.А., Прудников А.П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. – М. : Наука, 1974. – 542 с.

Научное издание

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**Материалы тринадцатой
Международной научной конференции**

«ТТС-22»

(23–25 ноября 2022 г.)

Статьи публикуются в авторской редакции

Технический редактор – И.И. Фоменко
Компьютерная верстка – М.Н. Гусева
Дизайн обложки – О.Я. Фоменко

Подписано в печать 25.11.2022
Бумага «Снегурочка»
Печ. л. 29,88
Усл. печ. л. 27,78
Уч.-изд. л. 25,01

Формат 60×84 ¹/₈
Печать трафаретная
Изд. № 1279
Тираж 100 экз.
Заказ № 2412

ООО «Издательский Дом – Юг»
350010, г. Краснодар, ул. Зиповская 9, литер «Г», оф. 41/3
тел. +7(918) 41-50-571

e-mail: id.yug2016@gmail.com

Сайт: <http://id-yug.com>