

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

**Министерство обороны РФ
ФГК ВОУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени Героя Советского Союза 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 XIV
Международной научной конференции**

«ТТС-23»

(22–24 ноября 2023 г.)

Краснодар
2023

УДК 621.3
ББК 39.53
Т38

Т38 Технические и технологические системы : материалы XIV Международной научной конференции «ТТС-23» (22–24 ноября 2023 года) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», ФГК ВОУ ВО «КВВАУЛ им. А.К. Серова». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2023. – 336 с.

ISBN 978-5-91718-749-5

Сборник содержит материалы XIV Международной научной конференции «Технические и технологические системы», проведенной в г. Краснодаре 22–24 ноября 2023 года на базе Кубанского государственного технологического университета. В настоящем издании представлены результаты исследований сотрудников научно-исследовательских, учебных, проектно-внедренческих и эксплуатационных организаций Российской Федерации и зарубежных стран.

ББК 39.53
УДК 629.7

ISBN 978-5-91718-749-5

© Коллектив авторов, 2023
© ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2023
© ФГК ВОУ ВО «КВВАУЛ
им. А.К. Серова», 2023
© Оформление ООО «Издательский
Дом – Юг», 2023

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1.

Энергосберегающие технологии и электрооборудование

- председатель – канд. техн. наук, доц. *Кашин Я.М.*
- сопредседатель – ассистент *Ким В.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 – канд. техн. наук, доц. *Кочарян Е.В.*
- сопредседатель – канд. техн. наук, доц. *Шапошников В.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

Шапошников В.В. – 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)

Пахомов Р.А. – канд. техн. наук, доцент, КубГТУ, г. Краснодар (Россия)

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

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

Кочарян Е.В. – канд. техн. наук, доцент, 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:

8-965-470-14-96 – Кашин Яков Михайлович,
8-961-852-50-10 – Ким Владислав Анатольевич.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Автайкин И.Н., Квон А.М., Шестаков Ф.А. Оптимизация лобовых частей обмоток электрических машин с аксиальным потокосцеплением	13
Автайкин И.Н., Квон А.М., Бесчастный И.А., Шестаков Ф.А. Математическая модель синхронного двигателя с постоянными магнитами	16
Автайкин И.Н., Квон А.М., Бесчастный И.А., Шестаков Ф.А. Имитационная модель синхронного двигателя с постоянными магнитами	19
Андреев В.А., Андреева Т.А., Папин А.В., Захаров С.А. Перспективы и возможности использования углерода для нетрадиционной энергетики	22
Афанасьев В.Л., Карандей Ю.Ю., Постушенко А.И., Этезов А.З., Нестеров Е.М., Гюрджян Л.Н. Анализ конструкции специального управляемого электрического привода с синхронными двигателями	25
Афанасьев В.Л., Карандей Ю.Ю., Постушенко А.И., Этезов А.З., Нестеров Е.М., Гюрджян Л.Н. Анализ способа определения момента в специальных асинхронных электрических приводах	28
Мухаметшина Е.С. кызы, Ваганов М.С. Полимерно-порошковые покрытия специального назначения, свойства и технология нанесения	31
Карандей В.Ю., Антипов Д.С., Афанасьев В.Л., Карандей Ю.Ю. Анализ работы электрических подстанций 110 кВ в зависимости от температуры	34
Кашин Я.М., Пешков А.В., Шаршак А.А., Шестаков Ф.А., Кузнецов Д.Н. Варианты модернизации указателей прохождения токов короткого замыкания для локализации повреждённого участка кабельной линии электропередачи	36
Киселев С.П. Элементы систем резервного и аварийного электроснабжения воздушных судов	40
Князев А.С., Самородов А.В., Шкода В.В., Трескинская А.А. Конструирование и расчёт массы многофазного ветрогенератора переменного тока	42
Малеев А.В. Применение вейвлет-преобразования для предварительной обработки изображений в оптической системе мониторинга гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи	46
Манаев Э.Е., Бартенев О.А. Разработка системы по выявлению места повреждения в распределительных сетях 6(10) кВ	51
Мытников А.В., Мамашаев Б.К. Система измерения тока в электрических сетях высокого напряжения	53

Печенкин А.Г., Ороладе Т.Б., Ония В.Ч. Компьютерная модель блока измерений для оценки качества выходного напряжения трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой	55
Печенкин А.Г., Ороладе Т.Б., Ония В.Ч. Исследование влияния насыщения магнитопровода трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой на его выходное напряжение	59
Рыжиков И.Н., Алсаев Р.А. Численное моделирование сварных соединений с дефектами	61
Сагитов Д.И., Полубояринов Т.П. Электротехническая беспилотная авиация как перспективные летательные средства эвакуации	65
Секретарев Ю.А., Горшунов А.А. Метод расчета ущербов монопотребителей от технологических потерь добычи нефти вследствие недоотпуска электроэнергии	70
Туманян Х.А. Перспективные разработки энергосберегающих технологий при разработке нефтяных и газовых месторождений	73
Шабаев Е.А., Беленов В.Н., Нелюба А.В., Ковалев В.В. Уточненный расчет потребляемой асинхронным двигателем реактивной мощности	76

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ

Абрамов В.С. Исследование технологии WebGPU	81
Батищев К.А., Левчик М.Э., Спирин С.А. Методические основы оценки угроз компьютерных атак на объекты критической информационной инфраструктуры	85
Бондарь А.А. Способы представления больших объемов данных на веб-картах	90
Волбуев И.К. Применение структурных паттернов во взаимодействии микросервисного веб-приложения и СУБД	94
Кожанов П.С. Сравнительный анализ подходов к организации клиент-серверного взаимодействия в современных React приложениях (на примере REST API и GraphQL)	97
Крючков А.В. Снижение синергетического эффекта применения цифровых двойников на предприятиях нефтегазовой промышленности из-за существующих разночтений в технических терминах	102
Ли Цзымин Система контроля состояния чистого помещения	106

Нуруллин А.Ш. Исследование критериев для сравнения производительности Javascript фреймворков для разработки веб-приложений: React, Vue, Angular, Svelte	109
---	-----

Трухан Д.А., Трухан Г.Д., Шевченко А.С., Зинченко О.И. Автоматизация вентиляционной системы на базе инструментального программного комплекса Codesys и Matlab Simulink	112
---	-----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НИР

Попова А.Н., Багдасарян Р.Х. Информационные технологии как популяризация современного музея	119
---	-----

Протасов В.Н., Кашин Я.М., Либерман В.А. Методические основы системного подхода по принципу иерархии к планированию требуемого уровня качества и экономической эффективности технических систем	122
---	-----

Сотниченко А.А., Багдасарян Р.Х. Виртуальные музеи. Проблемы использования и существования	127
--	-----

Энсис Е.И., Колесников В.П., Терехов В.В. Методики развития подвижного, кристаллизованного и интуитивного интеллектов ..	131
--	-----

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Голованов А.А. Анализ электроприводов существующих сепараторных установок и перспективы их развития	139
--	-----

Григораш О.В., Азарян А.А., Барышев П.М. Возобновляемая энергетика: анализ проблем и перспективы	143
--	-----

Григораш О.В., Денисенко Е.А., Таразанов В.И. Методика расчёта энергетических показателей солнечной фотоэнергетической установки	145
---	-----

Злобина И.В., Бекренев Н.В., Чуриков Д.О. Эффективность влияния ультразвука на прочность монослоя углепластика, полученного методом 3D печати	148
--	-----

Ивановский О.Я. Энергоэффективная автономная система электроснабжения	151
---	-----

Кашин Я.М., Самородов А.В., Томи Шейх, Трескинская А.А. Моделирование и выбор оборудования солнечного энергетического комплекса для промышленного предприятия	154
--	-----

Кашин Я.М., Попов А.Ю., Алёнкин М.В., Трескинская А.А. Гибридный энергетический комплекс на базе многовходовых генераторных установок с улучшенными техническими характеристиками и его основные элементы	158
---	-----

Кашин Я.М., Белов А.А., Пауков Д.В., Малеева А.В., Трескинская А.А. Определение эквивалентного времени электровыработки солнечной батареи при ее пиковой мощности на объектах Краснодарского края и Республики Адыгея ..	162
---	-----

Кашин Я.М., Кириллов Г.А., Шаршак А.А., Шестаков Ф.А., Кузнецов Д.Н. Анализ индукционного способа определения места повреждения кабеля	168
Квитко А.В., Грищенко Д.Н., Басте А.Ш. Методика расчёта основных параметров солнечного инвертора	171
Квитко А.В., Грищенко Д.Н., Дубовской А.В. К вопросу разработки систем управления солнечными инверторами	174
Князев А.С., Попов А.Ю., Шкода В.В., Ярьсько Н.Е. Расчёт параметров обмотки якоря и обмоточных коэффициентов основной гармоники ветрогенераторов для гибридных энергетических комплексов	177
Креймер А.С., Хицкова А.О. Роторные ветроустановки: особенности работы, достоинства, недостатки и перспективы	183
Кумейко А.А., Азарян А.А., Дубовской А.В. Возобновляемые источники энергии в сельскохозяйственном производстве	185
Попов С.А., Асташов М.А., Гурьев К.Д. Применение возобновляемых источников энергии для электроснабжения цеха лакокрасочного завода	188
Попов С.А., Кривченков В.И., Икоев Р.В. Измерение аналоговых сигналов в трекаре для солнечной батареи	192
Попов С.А., Кривченков В.И., Ибеоджо Г.О. Расчет нагрузок и выбор привода солнечного трекара	196
Самородов А.В., Мараховский Е.А., Трескинская А.А., Либерман В.А. Моделирование и выбор оборудования ветроэнергетического комплекса для промышленного предприятия	200
Самородов А.В., Быстрицкий А.В., Трескинская А.А., Самородова М.А. Анализ возможностей интеграции инновационных методов электроснабжения в распределительных сетях 6-10 кв посредством внедрения ВИЭ	203
Усков А.Е. Потенциал возобновляемой энергетики в городах с населением более миллиона человек	207
Харченко Д.П., Азарян А.А., Таразанов В.И. Ветро-солнечные электростанции фермерских хозяйств	210

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

Ясьян Ю.П., Нисковская М.Ю., Колмогорова В.А. Повышение энергоэффективности процесса декарбонизации дымовых газов газотурбинных электростанций	215
--	-----

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Абдуллаев М.Г. оглы, Мансурова С.И. гызы Анализ результатов применения методов обработки призабойной зоны скважин	221
--	-----

Балаба В.И., Гречищева Н.Ю., Заворотный В.Л. Системные аспекты применения буровых технологических жидкостей на углеводородной основе	226
Горпинченко А.Н. Анализ проблем на начальном этапе разработки 2 участка Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения	229
Лукина В.И., Дьячкова С.Г., Житов Р.Г. Вовлечение тяжелых нефтяных остатков в битум и полимерно-битумное вяжущее	242
Майкоби А.А., Аль-сухили М. Хамуд-Абду, Тахир Д.И. Проактивные методы ликвидации прихвата бурильных труб, вызванного сочетанием горного давления и тектонических напряжений	245
Майнингер В.А., Волков Е.Б. Классификационный анализ промышленных грохотов	248
Мамаджанов Э.У. Вопросы предупреждения и борьбы с прихватами бурового инструмента	253
Мамедов Р.М. ог., Султанова А.В. г. Оперативный контроль разрушения призабойной зоны скважины с применением теории катастроф	256
Мамедова Е.В. Анализ современных методов интенсификации высоковязких нефтей	261
Мустафаев А.А., Мамедбеков Г.Ф. оглы On the issue of studying reservoir and well performance	265
Никифоров Д.С. Использование турбодетандерного агрегата на магистральном газопроводе	270
Новокшенов Д.Н. Опыт разработки нижнепермских карбонатных отложений в пределах Косьвинско-Чусовской седловины и северной части Юрюзано-Сылвенской депрессии Пермского края	273
Омарова А.Ш. гызы, Меджидова А.Н. гызы Determining the bending intensity that ensures the free passage of the curved conductor assembly through the curvilinear barrel	285
Орлова И.О., Даценко Е.Н., Чермит Т.А., Орлов И.В. Воздействие магнитного поля на призабойную зону скважины как метод предупреждения парафинообразования	289
Орлова И.О., Даценко Е.Н., Чермит Т.А., Орлов И.В. Использование тепловой энергии для удаления парафиновых отложений	291
Пашаева Ш.В., Шабанов М.И. Оценка коэффициента предельного извлечения нефти по комплексу НГК и ЯМК	294
Рагимова М.С., Намазова Г.И., Сулейманов Ш.М., Рзаева Х.Д. Динамическое напряжение в колонне лифтовых труб, возникающее от воздействия работы забойного вибратора	296
Рагимова М.С., Намазова Г.И., Сулейманов Ш.М., Рзаева Х.Д. Особенности устранения усталостного повреждения деталей машин	299

Рогов Е.А. Определение предельно допустимых величин межколонных давлений для цементного кольца	302
Сайганов А.А., Шкирман Н.П. Использование георадарной съемки для выявления аварийных зон в пределах действующей автострады	305
Самедзаде А.А. Влияние извилистости на ФЕС пород коллекторов	310
Самохвалов В.Е. Буферная жидкость для цементирования скважин	313
Стефанов Р.Е. Анализ состояния магистрального газопровода и моделирование системы «газопровод – массив грунта»	315
Тюхтина Н.С. Метод оценки проницаемости пористых образцов	324
Шалыгин Р.К., Нгуен Ф.С.М. О безопасности химической продукции для бурения скважин	327
Шарифов Д.Д., Зейналова С.А. Статистический метод идентификации эксплуатационных объектов	330
Шахбазов Р.А. Геологического строения Газдагского полиметаллического месторождения	334

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

УДК 621.3.045

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С АКСИАЛЬНЫМ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЕМ

**Автайкин
Илья Николаевич**

Кубанский государственный технологический университет
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники и
электрических машин
glubokovodnik@yandex.ru

**Квон
Алексей Михайлович**

Кубанский государственный технологический университет
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники и
электрических машин

**Шестаков
Фёдор Алексеевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент

Аннотация. В статье рассматривается вопрос определения координат точек касательной к лобовой части обмотки. Решение данной задачи позволит проводить дальнейшую оптимизацию геометрических размеров аксиальной электрической машины.

Ключевые слова: аксиальная электрическая машина; лобовые части обмотки; геометрия расположения обмотки.

Электрические машины с аксиальными магнитным потоком являются привлекательной альтернативой своему цилиндрическому аналогу с радиальным потоком благодаря форме диска, компактной конструкции и высокой плотности крутящего момента. Двигатели с аксиальным потокосцеплением особенно подходят для электромобилей, насосов, систем управления клапанами, центрифуг, вентиляторов, станков, подъемников, роботов. Они стали широко использоваться для сервоприводов с низким крутящим моментом и систем регулирования скорости. Применение этих машин в качестве генераторов оправдано в ветряных турбинах, переносных генераторных установках и дорожных транспортных средствах.

Одной из важных компонент конструкции электрической машины является обмотка [1]. От пропускной способности обмотки зависит полезная мощность и КПД. При ее проектировании необходимо учитывать размеры внутреннего диаметра магнитопровода [2, 3, 4], который накладывает ограничение при размещении лобовых частей.

При оптимизации формы и размеров лобовых частей обмотки, располагающихся в окне внутренней части тороидального сердечника, возникла задача нахождения координат точки касания прямой, проведенной из некоторой точки с окружностью. В приводимом материале мы даем только часть, посвященную вышеуказанной задаче из общего алгоритма оптимизации лобовых частей.

Определим точку касания прямой $S_{1.1}C_{0.1}$ и окружности с центром в точке O^* и радиусом R (рис. 1). Предположим, что координаты точек заданы: $O(0,0)$, $O^*(x_0, y_0)$, $S_{1.1}(x_{c1.1}, y_{c1.1})$.

Наиболее удобно воспользоваться дополнительной системой координат, сориентированной таким образом чтобы положительное направление ее оси Oy было направлено от точки $S_{1.1}$ к точке $O^*(x_0, y_0)$. Назовем дополнительную систему локальной системой координат (ЛСК). Как видно из рисунка 1, ЛСК и глобальная система координат (ГСК) смещены друг относительно друга на некоторые Δx и Δy и смещены на угол ξ .

Зная координаты точек $S_{1.1}$ и O^* , определим проекции отрезка $S_{1.1}O^*$ в ГСК:

Проекция C_x и C_y в ГСК: $C_x = x_0 - x_{c1.1}$, $C_y = y_0 - y_{c1.1}$. Введем дополнительно единичный вектор \vec{Y} . Сориентируем его вдоль оси OY ГСК. Тогда проекции этого вектора будут равны: $Y_x = 0$; $Y_y = 1$.

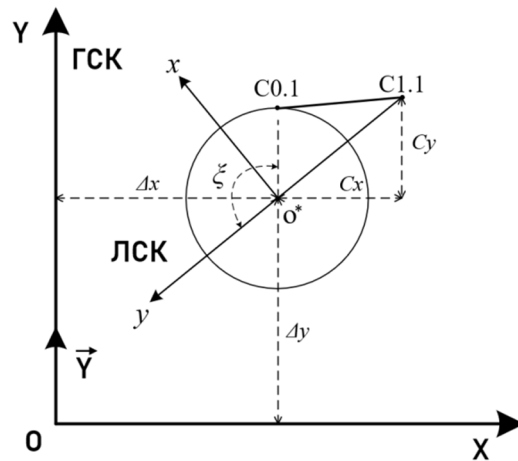


Рисунок 1

Угол ξ между векторами \vec{Y} и $\vec{O^*y}$, равен углу между системами координат. Его значение можно выразить через проекции векторов следующим образом

$$\xi = \arccos \left(\frac{Y_x \cdot y_0 + Y_y \cdot y_0}{\sqrt{Y_x^2 + Y_y^2} \cdot \sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \right). \quad (1)$$

Смещения между системами координат равны координатам точки центра окружности

$$\Delta x = x_0 \text{ и } \Delta y = y_0. \quad (2)$$

Используя (1) и (2) получим перевод координат точки из ГСК в ЛСК. Координаты точки C1.1 в ЛСК

$$X_{C1.1} = (x_{C1.1} - \Delta x) \cdot \cos \xi + (y_{C1.1} - \Delta y) \cdot \sin \xi, \quad (3)$$

$$Y_{C1.1} = (y_{C1.1} - \Delta y) \cdot \cos \xi - (x_{C1.1} - \Delta x) \cdot \sin \xi. \quad (4)$$

С учетом (1) – (4) задача нахождения точки касания упрощается. Центр окружности в ЛСК будет иметь нулевые координаты $O^*(0,0)$. Более того, если представить уравнение прямой C1.1C0.1 в виде линейного уравнения $y = kx + l$, где: k, l – коэффициенты, которые необходимо определить, то можно утверждать, что в ЛСК коэффициент $l = -Y_{C1.1}$ (см. рис. 2).

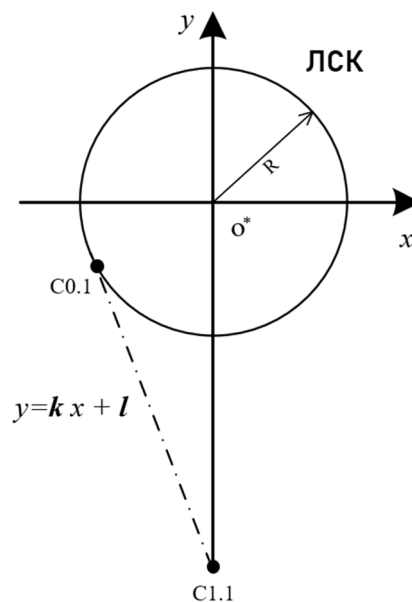


Рисунок 2

Отметим, что коэффициент k характеризует угол наклона прямой к окружности, и она может касаться окружности с обеих сторон. Следовательно, коэффициент k будет иметь два равных по модулю и разных по знаку значения.

Для отыскания неизвестного k достаточно составить систему уравнений из уравнений прямой и окружности:

$$\left. \begin{aligned} y &= k \cdot x + l; \\ y &= \sqrt{R^2 - x^2}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В точках касания и пересечения правые части уравнений должны быть равными. Преобразуем получившееся уравнение к каноническому виду

$$\begin{aligned} a \cdot x^2 + bx + c &= 0; \\ k \cdot x + l &= \sqrt{R^2 - x^2}; \\ (k^2 + 1) \cdot x^2 + 2klx + l^2 - R^2 &= 0; \\ a &= (k^2 + 1); b = 2kl; c = l^2 - R^2. \end{aligned}$$

Для обеспечения единственной точки пересечения (касания) одной прямой с окружностью данное уравнение должно иметь один корень. Поэтому приравняем дискриминант нулю и найдем из него неизвестный k

$$\begin{aligned} b^2 - 4ac &= 0; \\ (2kl)^2 - 4(k^2 + 1)(l^2 - R^2) &= 0; \\ R^2k^2 + R^2 - l^2 &= 0. \end{aligned}$$

Решение данного уравнения относительно k даст два равных по модулю, но разных по знаку значения, одно из которых отбрасывается, а второе учитывается в системе (5). Отрицательному k будет соответствовать прямая слева от оси y (см. рис. 2), а для положительного справа.

Для обратного перевода координат точки $C_{0.1}$ из ЛСК в ГСК

$$\begin{aligned} x_{C_{0.1}} &= (X_{C_{0.1}} \cdot \cos(\xi) - Y_{C_{0.1}} \cdot \sin(\xi)) + \Delta x; \\ y_{C_{0.1}} &= (X_{C_{0.1}} \cdot \sin(\xi) + Y_{C_{0.1}} \cdot \cos(\xi)) + \Delta y. \end{aligned}$$

Список литературы:

1. Gieras, Jacek & Wang, Rong-Jie & Kamper, Maarten. (2008). Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines. Edition: 2nd. Publisher: Springer Netherlands. January 2008. ISBN: 978-1-4020-6993-2.
2. Влияние геометрических радиальных соотношений аксиальной электрической машины на ее габаритные характеристики и электромагнитный момент / Б.Х. Гайтов [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019. – № 2(118). – С. 77–79.
3. Автайкин И.Н., Квон А.М. Определение основных геометрических размеров магнитопровода аксиальной асинхронной машины // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 6. – С. 116–118.
4. Исследование влияния геометрических размеров аксиальной электрической машины на ее эксплуатационно-технические характеристики / И.И. Автайкин [и др.] // Технические и технологические системы : материалы IV Международной научной конференции, Кубань, 10–12 октября 2012 года. – Кубань : Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2012. – С. 185–193.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

**Автайкин
Илья Николаевич**

Кубанский государственный технологический университет
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники и
электрических машин
glubokovodnik@yandex.ru

**Квон
Алексей Михайлович**

Кубанский государственный технологический университет
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники и
электрических машин

**Бесчастный
Иван Андреевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент
bestia335@mail.ru

**Шестаков
Фёдор Алексеевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент

Аннотация. В работе рассматривается вопрос формирования уравнений математической модели синхронного двигателя с постоянными магнитами на роторе. Авторами получены выражения данной модели в координатах dq, а также уравнение движения для системы электропривода.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами; математическое моделирование; система координат dq; уравнение движения электропривода.

С появлением новых редкоземельных магнитов и их применением в электромашиностроении стало очевидно, что конструкции таких электрических машин имеют более высокий КПД (примерно на 2 %) , чем высоко эффективный (IE3) асинхронный электродвигатель, при условии, что статор имеет одинаковую конструкцию, а для управления используется один и тот же частотный преобразователь. При этом синхронные электродвигатели с постоянными магнитами (СМПМ) по сравнению с другими электродвигателями обладают лучшими показателями: мощность/объем, момент/инерция и др. Поэтому возникла необходимость в создании математической модели данного вида электрической машины.

Ранее авторами разработаны математические модели явнополюсной синхронной машины в координатах (ABC) для статора и (dq) для ротора [1, 2].

Ниже, на рисунке 1 показано взаимное расположение обмоток статора СМПМ для трехфазной (ABC) и двухфазной (dq) систем координат (СК), а также взаимное расположение ротора.

Как было сказано выше, конструкция статора асинхронной машины и СМПМ одинакова, поэтому уравнения для фазных напряжений статора СМПМ в неподвижной трехфазной системе координат (СК) "ABC" будут выглядеть следующим образом

$$\left. \begin{aligned} u_{1a} &= r_1 i_{1a} + \frac{d\psi_{1a}}{dt}; \\ u_{1b} &= r_1 i_{1b} + \frac{d\psi_{1b}}{dt}; \\ u_{1c} &= r_1 i_{1c} + \frac{d\psi_{1c}}{dt}. \end{aligned} \right\} . \quad (1)$$

Тогда уравнения фазных напряжений в векторной форме [3]

$$\vec{u}_1 = r_1 \vec{i}_1 + \frac{d\vec{\psi}_1}{dt}. \quad (2)$$

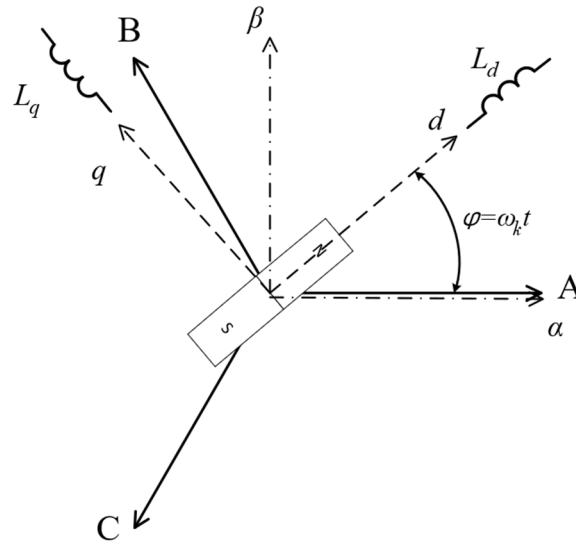


Рисунок 1 – Модель СДПМ в различных системах координат

$\vec{\Psi}_1$ – вектор потокосцепления обмотки статора, созданного токами статора и потоком постоянного магнита;

$$\vec{\Psi}_1 = \vec{\Psi}_{11} + \vec{\Psi}_{pm}, \quad (3)$$

где $\vec{\Psi}_{11}$ – вектор потокосцепления от токов статора; $\vec{\Psi}_{pm}$ – вектор потокосцепления от постоянного магнита.

С учетом (3), уравнение напряжения (2) примет следующий вид

$$\vec{u}_1 = r_1 \vec{i}_1 + \frac{d\vec{\Psi}_{11}}{dt} + \frac{d\vec{\Psi}_{pm}}{dt}. \quad (4)$$

Преобразуем (4), записанное для неподвижной СК – $\alpha\beta$, в систему – dq , связанную с ротором. Умножим правую и левую части (4) на оператор обратного вращения $e^{-j\omega_k t}$ [4].

$$\begin{aligned} \vec{u}_{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_k t} &= r_1 \vec{i}_{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_k t} + \frac{d\vec{\Psi}_{11}^{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_k t}}{dt} + \frac{d\vec{\Psi}_{pm}^{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_k t}}{dt}; \\ \vec{u}_{dq} &= \vec{u}_{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_k t}; \quad \vec{i}_{dq} = \vec{i}_{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_k t}; \\ \frac{d\vec{\Psi}_{11}^{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_k t}}{dt} &= \frac{d(\vec{\Psi}_{11}^{dq} \cdot e^{-j\omega_k t})}{dt} \cdot e^{-j\omega_k t} = \\ &= \left[\frac{d\vec{\Psi}_{11}^{dq}}{dt} \cdot e^{-j\omega_k t} + j\omega_r \cdot e^{j\omega_k t} \cdot \vec{\Psi}_{11}^{dq} \right] e^{-j\omega_k t} = \frac{d\vec{\Psi}_{11}^{dq}}{dt} + j\omega_r \cdot \vec{\Psi}_{11}^{dq}; \\ \frac{d\vec{\Psi}_{pm}^{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_k t}}{dt} &= \frac{d\vec{\Psi}_{pm}^{dq}}{dt} + j\omega_r \cdot \vec{\Psi}_{pm}^{dq}. \\ \vec{u}_{dq} &= r_1 \vec{i}_{dq} + j\omega_r (\vec{\Psi}_{11}^{dq} + \vec{\Psi}_{pm}^{dq}) + \frac{d\vec{\Psi}_{11}^{dq}}{dt} + \frac{d\vec{\Psi}_{pm}^{dq}}{dt}. \end{aligned} \quad (5)$$

В дальнейших рассуждениях будем упускать верхний индекс "dq".

Подставляя в уравнение (5) векторы в форме комплексных чисел и разделяя вещественную и мнимую части, получим уравнения по осям q и d .

$$\begin{aligned} u_{1d} + ju_{1q} &= r_1 (i_{1d} + ji_{1q}) + j\omega_r (\Psi_{11d} + j\Psi_{11q} + \Psi_{pmd} + j\Psi_{pmq}) + \\ &+ \frac{d(\Psi_{11d} + j\Psi_{11q})}{dt} + \frac{d(\Psi_{pmd} + j\Psi_{pmq})}{dt}. \end{aligned}$$

Выделим действительную и мнимую части

$$\left. \begin{aligned} u_{1d} &= r_1 i_{1d} - \omega_r (\Psi_{11q} + \Psi_{pmq}) + \frac{d\Psi_{11d}}{dt} + \frac{d\Psi_{pmd}}{dt}; \\ u_{1q} &= r_1 i_{1q} + \omega_r (\Psi_{11d} + \Psi_{pmd}) + \frac{d\Psi_{11q}}{dt} + \frac{d\Psi_{pmq}}{dt}. \end{aligned} \right\}$$

Так как постоянный магнит сориентирован таким образом, что его ось полюсов совпадает с осью d (рис. 1), то можно полагать $\Psi_{pmq} = 0$ и $\frac{d\Psi_{pmq}}{dt} = 0$. Кроме того, поток магнита покоится в системе dq, а, следовательно, его производная $\frac{d\Psi_{pmd}}{dt} = 0$. С учетом этого:

$$\left. \begin{aligned} u_{1d} &= r_1 i_{1d} - \omega_k \Psi_{11q} + \frac{d\Psi_{11d}}{dt} \\ u_{1q} &= r_1 i_{1q} + \omega_k (\Psi_{11d} + \Psi_{pmd}) + \frac{d\Psi_{11q}}{dt} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} u_{1d} &= r_1 i_{1d} - \omega_k L_q i_{1q} + L_{1d} \frac{di_{1d}}{dt} \\ u_{1q} &= r_1 i_{1q} + \omega_k L_d i_{1d} + \omega_k \Psi_{pmd} + L_{1q} \frac{di_{1q}}{dt} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Уравнения системы (7) приведем к виду Коши

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{1d}}{dt} &= \frac{1}{L_{1d}} (u_{1d} - r_1 i_{1d} + \omega_k L_q i_{1q}) \\ \frac{di_{1q}}{dt} &= \frac{1}{L_{1q}} (u_{1q} - r_1 i_{1q} - \omega_k L_d i_{1d} - \omega_k \Psi_{pmd}) \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Отметим, что ω_k это угловая скорость вращения СК, равная по величине угловой скорости вращения двухполюсного ротора и имеющая название – электрическая угловая частота ω_e . Таким образом, механическая скорость вращения многополюсного ротора будет связана с механической скоростью двухполюсного ротора и соответственно с электрической частотой следующим равенством

$$\omega_k = \omega_e = \frac{Z_p}{2} \omega_r,$$

где Z_p – число пар полюсов ротора.

Уравнение электромагнитного момента

$$M_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{Z_p}{2} \left((\Psi_{11d} + \Psi_{pmd}) i_{1q} - \Psi_{11q} i_{1d} \right) = \frac{3}{2} \cdot \frac{Z_p}{2} \left((L_{1d} i_{1d} + \Psi_{pmd}) i_{1q} - L_q i_{1q} i_{1d} \right). \quad (9)$$

Уравнение движения

$$M_e - M_c = J \frac{d\omega_r}{dt} + k_f \omega_r,$$

в форме Коши

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_e - M_c - k_f \omega_r), \quad (10)$$

где M_c – момент нагрузки; J – полный момент инерции; k_f – коэффициент вязкого трения.

Список литературы:

1. Универсальная Математическая Модель Синхронной Машины В Фазных Координатах Статора / А.М. Квон [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2021. – № 3. – С. 152–161.
2. Квон А.М., Автайкин И.Н. Получение уравнений математической модели виткового замыкания явнополюсного синхронного двигателя в матричной форме на основе теории пространства состояния // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2023. – № 4. – С. 110–118.
3. Усольцев А.А. Современный асинхронный электропривод оптико-механических комплексов : учебное пособие. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011. – 164 с.
4. Kim V.A., Avtaykin I.N., Golovanov A.A. Adjusting Characteristics of the Engine with Multifunctional Massive Rotor // Proceedings – 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022, Sochi, 16–20 мая 2022 года. – Sochi, 2022. – P. 420–424. – DOI 10.1109/ICIEAM54945.2022.9787113.

УДК 621.313.8

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

**Автайкин
Илья Николаевич**

Кубанский государственный технологический университет
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники и
электрических машин
glubokovodnik@yandex.ru

**Квон
Алексей Михайлович**

Кубанский государственный технологический университет
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехники и
электрических машин

**Бесчастный
Иван Андреевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент
bestia335@mail.ru

**Шестаков
Фёдор Алексеевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент

Аннотация. В работе рассматривается вопрос исследования синхронного двигателя с постоянными магнитами на роторе на базе имитационных моделей. Авторами получены имитационные модели для токов, электромагнитного момента и угловой скорости. В заключении приведены результаты исследования модели при пуске и набросе нагрузки.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами; имитационное моделирование; результаты работы моделей.

Моделирование синхронных машин как в трехфазной (ABC) [1], так и в двухфазной ($\alpha\beta$ или dq) систем координат имеют свои достоинства и недостатки. Но если система координат определена, то возникает необходимость в исследовании полученной математической модели. Один из наиболее удобных вариантов исследования – создание имитационных моделей на базе разработанных ранее математических моделей.

Объектом исследования является синхронная машина с постоянными магнитами. Ее представление для различных систем координат предложено на рисунке 1.

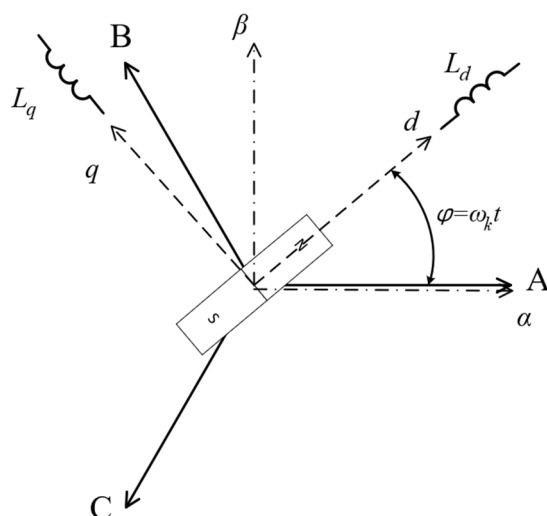


Рисунок 1 – Модель СДПМ в различных системах координат

Основные уравнения, представляющие интерес для исследования: уравнения электромагнитного равновесия, уравнение электромагнитного момента и уравнение равновесия моментов. Рассмотрим каждое из заявленных уравнений.

Уравнения электромагнитного равновесия, приведенные к виду Коши в координатах dq имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{1d}}{dt} &= \frac{1}{L_{1d}} (u_{1d} - r_1 i_{1d} + \omega_k L_q i_{1q}) \\ \frac{di_{1q}}{dt} &= \frac{1}{L_{1q}} (u_{1q} - r_1 i_{1q} - \omega_k L_d i_{1d} - \omega_k \Psi_{pmd}) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где ω_k – угловая скорость вращения системы координат, равная по величине угловой скорости вращения двухполюсного ротора.

Уравнение электромагнитного момента для вращающейся системы dq

$$\begin{aligned} M_e &= \frac{3}{2} \cdot \frac{Z_p}{2} ((\Psi_{11d} + \Psi_{pmd})i_{1q} - \Psi_{11q}i_{1d}) = \\ &= \frac{3}{2} \cdot \frac{Z_p}{2} ((L_{1d}i_{1d} + \Psi_{pmd})i_{1q} - L_q i_{1q}i_{1d}), \end{aligned} \quad (2)$$

где Z_p – число пар полюсов ротора.

Уравнение движения в форме Коши

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_e - M_c - k_f \omega_r), \quad (3)$$

где M_c – момент нагрузки; J – полный момент инерции; k_f – коэффициент вязкого трения.

Для каждого из уравнений (1) – (3) составим модель на примере распространенных систем имитационного моделирования (рис. 2–4). Более подробно вопрос формирования имитационных моделей рассмотрен в [2].

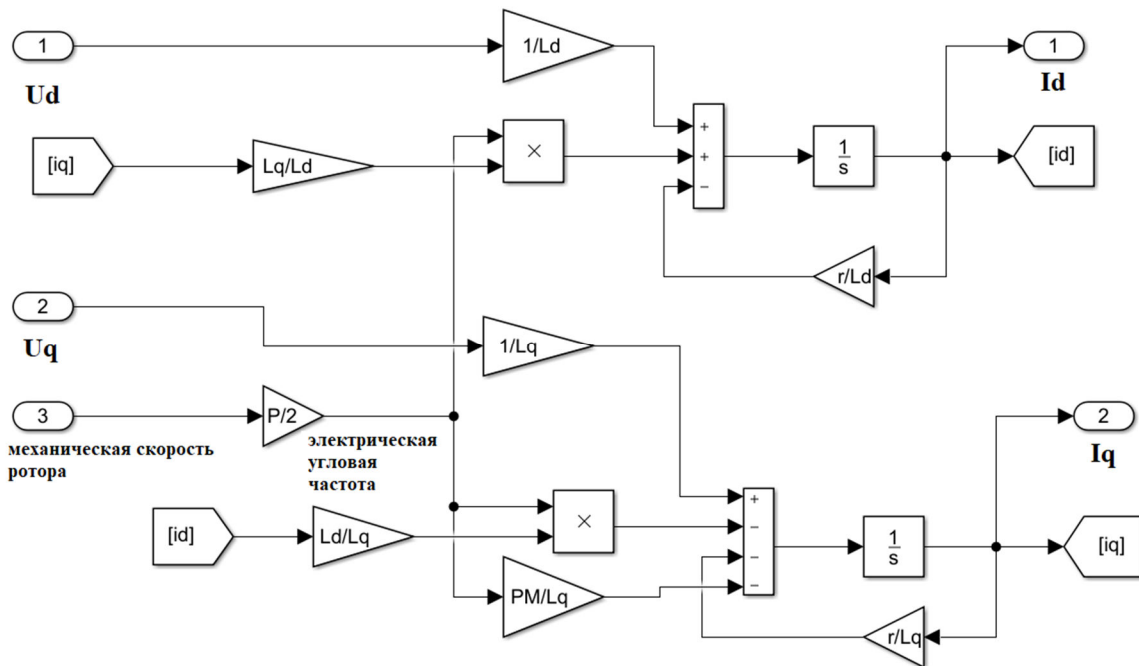


Рисунок 2 – Имитационная модель системы уравнений 1

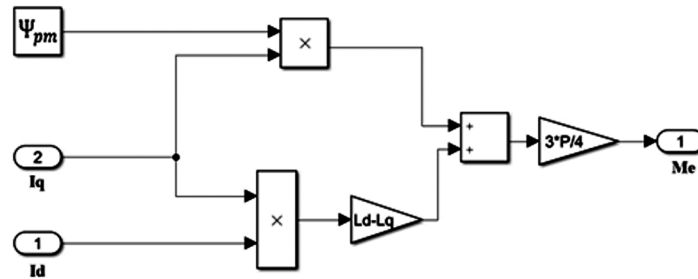


Рисунок 3 – Имитационная модель уравнения 2

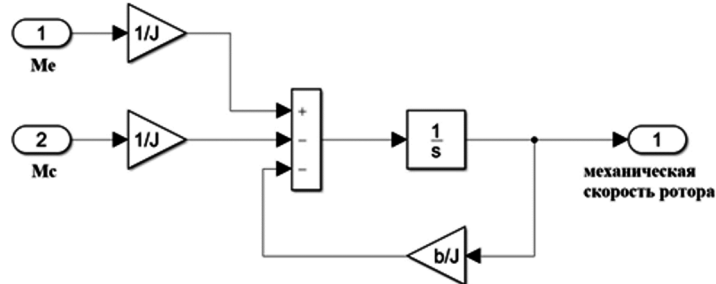


Рисунок 4 – Имитационная модель уравнения 3

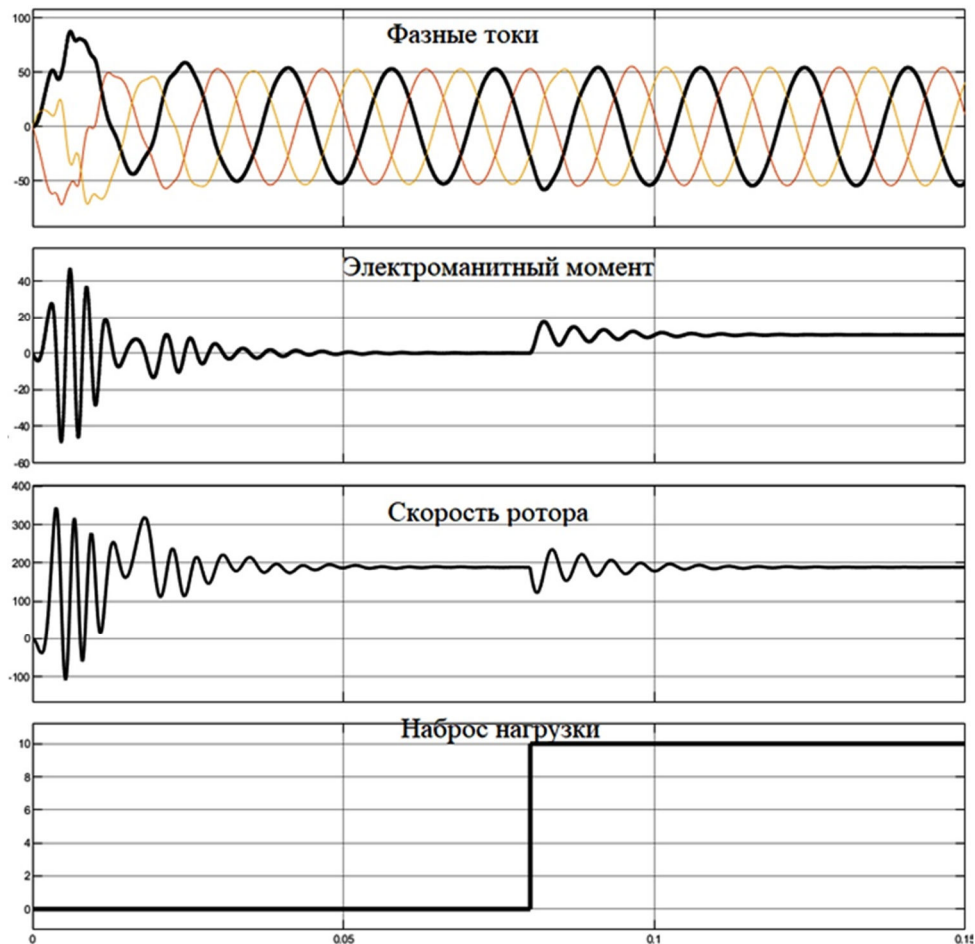


Рисунок 5 – Диаграммы фазных токов, момента, угловой скорости и наброса нагрузки

Список литературы:

1. Квон А.М., Автайкин И.Н. Математическая модель синхронной машины // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 6. – С. 291–293.
2. Математическая модель однофазного трансформатора / И.Н. Автайкин [и др.] // Булатовские чтения. – 2023. – Т. 2. – С. 175–177.

УДК 621.352.6

ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДА ДЛЯ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Андреев Виктор Александрович	Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева преподаватель andreevva@kuzstu.ru
Андреева Татьяна Александровна	Кемеровский кооперативный техникум преподаватель
Папин Андрей Владимирович	Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ИХНТ КузГТУ по научной работе
Захаров Сергей Александрович	Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ЭГПП zsa.egpp@kuzstu.ru

Аннотация. В работе описываются способы применения углерода в химических источниках тока для генерации электрической энергии. Рассматриваются процессы модификации углерода для улучшения его электротехнических и электрохимических характеристик. Предлагается использовать низкосортные углеродные материалы для изготовления топливных элементов.

Ключевые слова: химический источник тока, топливный элемент, электрическая энергия, электроды, углерод.

Электрическая энергия – наиболее ценный вид энергии, без которого на данный момент человечество не просто будет жить некомфортно, а окажется на грани гибели. Можно назвать два основных пути получения электроэнергии:

- 1) традиционный, когда из органического топлива последовательно получают тепловую, механическую и электрическую энергию;
- 2) при помощи химических источников тока (ХИТ).

Среди ХИТ наибольшим научным потенциалом обладают топливные элементы (ТЭ), ведущие мировые экономики и военные державы (США, Япония, Китай) стремятся перехватить пальму первенства в освоении данной области выработки электроэнергии. России также не стоит отставать от других стран в вопросах изучения принципов работы ТЭ и их активного внедрения в технику.

Для производства электроэнергии по такой схеме могут быть использованы топливные элементы, КПД которых приближается к 70–80 %. Топливные элементы могут перерабатывать различные виды топлива, например, водород, синтез-газ, метиловый спирт и прочее.

На сегодняшний день существует огромное количество различных прототипов и имитационных лабораторных установок топливных элементов. Все они отличаются видом топлива, применением катализаторов, разнообразием конструкций, разновидностью электродов. В каждом случае есть своя «изюминка», свои преимущества и недостатки.

Ученые из КузГТУ [1] считают, что наиболее перспективны топливные элементы с прямым окислением твердого углерода (DCFC).

В топливных элементах такого типа можно использовать практически любой вид углеродного материала, даже если это отход. Причем углерод может быть использован и как топливо, и для изготовления электродов.

Кемеровские исследователи для своего топливного элемента используют технический углерод пиролиза автошин. Соединения серы, переходящие из резины в технический углерод, не могут ухудшить работу установки (проявить себя, как каталитический яд), т.к. в данном топливном элементе не используется анодный катализатор для ускорения отдачи электронов.

Работы по получению технического углерода пиролиза автошин проводились на базе Лаборатории термодинамики многофазных систем КузГТУ. Пиролиз резиновой крошки производился в муфельной печи «СНОЛ», в закрытой реторте.

После окончания процесса пиролиза на выходе получается 3 продукта: жидкая фракция, пиролизные газы и твёрдый остаток (технический углерод) с определенными характеристиками, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Технический анализ твердого остатка пиролиза автошин

Объект испытания	Определяемый компонент	Содержание компонента, % мас.
Низкокачественный технический углерод	Содержание влаги	2,4
	Зольность: A^d	16,3
	Выход летучих веществ: V^{daf}	8,5
	S^d_t , мас. %	4–8

Для изготовления анода технический углерод подвергается брикетированию со связующим – жидким стеклом – при помощи штемпельного прессы, давление прессования достигает 150 кг/см^2 (см. рис. 1). Характеристика полученных брикетов приведена в таблице 2.



Рисунок 1 – Анод, полученный брикетированием технического углерода

Таблица 2 – Испытания брикетов из углерода

Физические испытания			Топливные характеристики		
сжатие, кг/см^2	истирание, % содержание кусков размером > 25 мм	сбрасывание, % содержание кусков размером > 25 мм	A^d , % мас.	Q_s^r , ккал/кг	S^d_t , % мас.
3–4	30	40	5,4	7550	0,55

Изобретатели [2] предлагают вариант химического источника тока стонкопленочным электродным катодом, в котором положительный и отрицательный электроды изготавливают в виде углеродной матрицы из рулонного материала, имеющего высокую пористость. При этом пористые матрицы положительного и отрицательного электродов заполняют химически активным материалом толщиной слоя от 20 нм до 2 мкм, который равномерно распределяют по поверхности углеродной матрицы.

Токосборник положительного и отрицательного электродов изготавливают в виде слоя металла толщиной от 2 до 10 мкм, который наносят по вакуумной тонкопленочной технологии на пористую углеродную матрицу.

Применение пористого углеродного материала в качестве топлива ТЭ (DCFC) – еще одна область исследований топливных элементов. Пористые углероды разнообразны по способу изготовления и по применению.

Зарубежными учеными [3] описан способ получения пористого углеродного материала из сырья растительного происхождения, который включает карбонизацию материала растительного происхождения при температуре 800–1400 °С, с последующей обработкой кислотой или щелочью, с обеспечением получения пористого углеродного материала, имеющего величину удельной площади поверхности, по меньшей мере, 10 м²/г, содержание кремния не более 1 мас. % и объем пор, по меньшей мере, 0,1 см³/г.

Описано также применение данного пористого углерода для изготовления анода батарей.

Отечественные авторы [4] получили пористый углеродный материал из бурых углей. Способ включает смешивание измельченного до фракции 1–2 мм бурого угля с содержанием влаги 20–25 % с твердым гидроксидом калия или натрия в массовом соотношении 1 : 1 – 1 : 5, последующую карбонизацию и щелочную активацию при 600–800 °С в течение 1 часа в инертной атмосфере или в атмосфере газов, образующихся при карбонизации, отмывку целевого продукта от неорганических примесей водой, затем раствором кислоты, затем снова водой до нейтральной среды и сушку.

Ученые из Германии [5] предлагают изготавливать «Натриевый углерод» – обратимый анод для натриево-кислородных батарей. Общая конструкция элементов натриево-кислородных батарей основана на использовании щелочного металла в качестве отрицательного электрода и газодиффузионного слоя углерода в качестве положительного (кислородного) электрода. Усовершенствование конструкции заключается в использовании в качестве положительного и отрицательного электродов одного и того же газодиффузионного слоя углерода. В целом, такой подход увеличивает срок службы в 5 раз и дополнительно снижает сумму перенапряжений заряда и разряда.

Данные примеры показывают, насколько перспективны исследования по использованию углерода для получения электрического тока напрямую, т.е. электрохимически.

Список литературы:

1. Андреева Т.А. Конструкция и применение топливных элементов / Т.А. Андреева, А.В. Папин, А.Ю. Игнатова // X Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» Кемерово, 2018: материалы. – Кемерово : КузГТУ, 2018. – С. 1–4.
2. Патент РФ № 2014107643, 08.10.2018. Следящий электропривод, Институт комплексной безопасности и специального приборостроения. Слепцов Владимир Владимирович (RU).
3. Патент: RU 2 425 800 C2, 10.06.2010. Пористый углеродный материал, способ его получения, адсорбенты, маски, впитывающие листы и носители, СНИ КОРПОРЕЙШН. ТАБАТА Сейитиро (JP).
4. Патент РФ № 2393111, 27.06.2009. Способ получения микропористого углеродного материала из лигноцеллюлозного сырья, Институт химии и химической технологии СО РАН (ИХХТ СО РАН). Микова Надежда Михайловна (RU).
5. Конрад Л. Бендер. Натриевый углерод: обратимый анод для натриево-кислородных батарей и способ химического синтеза супероксида натрия (NaO₂) / Конрад Л. Бендер, Бирте Яхе, Филипп Адельхейм // Журнал материальной химии. – 2015. – № 41. – С. 237–239.

УДК 621.31+62-83

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С СИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Афанасьев Виктор Леонидович	Кубанский государственный технологический университет старший преподаватель
Карандей Юрий Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет аспирант
Постушенко Андрей Игоревич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Этезов Аслан Зупарович	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Нестеров Егор Максимович	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Гюрджян Левон Нерсесович	Кубанский государственный технологический университет магистрант

Аннотация. В статье представлен анализ каскадного управляемого электрического привода с синхронными двигателями. Перспективная конструкция специального управляемого электрического привода с синхронными двигателями может быть использована при создании безредукторных приводов для различных отраслей промышленности.

Ключевые слова: специальный синхронный электрический привод, управляемый синхронный каскадный электрический привод, математическое моделирование, электромагнитное поле, электромагнитная система, электромагнитный момент, электромеханическое преобразование энергии.

Для создания сложных технологических процессов [1–2] необходимы новые технические комплексы [3–4] и устройства [5–7]. Для этого необходимо разработать программные комплексы [8–11] для расчета магнитных [12–15] и электрических параметров [16–18].

Применение управляемого синхронного электрического привода (рис. 1) для решения поставленных технологических задач решает задачу отказа от применения однодвигательных электроприводов с более дорогой и сложной системой управления или других специальных электрических приводов различных конструкций.

Специальный состоит из синхронных двигателей I и II, электромагнитных муфт 1, 2, 5, крепежного кольца 3, валов 4, 10, корпуса 6, статоров 7, 12, роторов 8, 14, подшипников 9, 11, 13, фрикционной прокладки 15, фрикционных прокладок с одинаковыми рабочими площадями 16 17, контактных колец 18 и щеток 19.

Анализ предложенной конструкции позволит создавать сложные технологические комплексы со специальными синхронными электрическими приводами для различных отраслей промышленности.

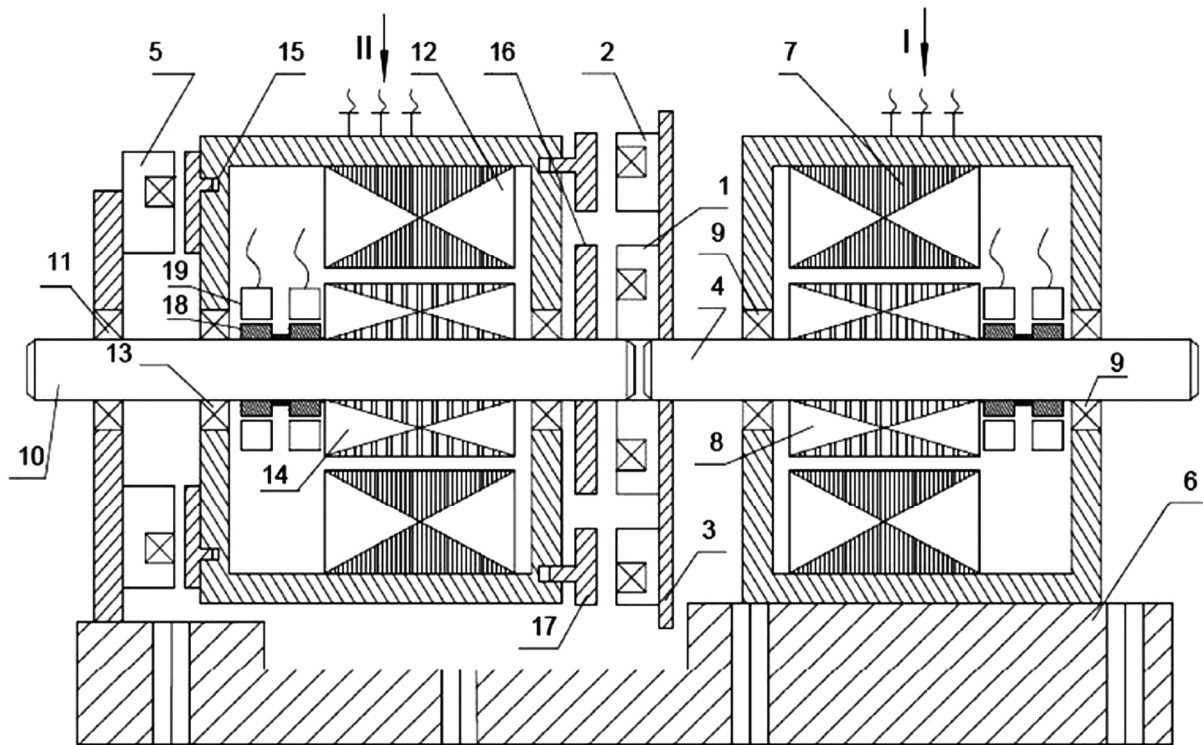


Рисунок 1 – Специальный управляемый электрический привод с синхронными двигателями

Список литературы:

1. Козярук А.Е. Современные эффективные электроприводы производственных и транспортных механизмов // Электротехника. – 2019. – № 3. – С. 33–37.
2. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – 052003. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052003.
3. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2461947 зарегистрировано 20.09.2012 г.
4. Карандей В.Ю. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Патент на изобретение № 2483415 зарегистрировано 11.03.2013 г.
5. 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.
6. Карандей В.Ю. Токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2370869 зарегистрировано 30.06.2008 г.
7. Карандей В.Ю. Сигнализирующее токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Патент на изобретение № 2601958 от 27.07.2015 г, зарегистрировано 18.10.2016 г.
8. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, А.В. Базык // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2015615828, зарегистрировано 25.05.2015 г.
9. Попов Б.К. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008 г.
10. Карандей В.Ю. Программа для расчета магнитной системы ротора методом магнитных цепей / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS № 2008614047, зарегистрировано 30.06.2008 г.

11. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потокораспределения / В.Ю. Карандей // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS № 2015615827, зарегистрировано 27.03.2015 г.

12. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06(120). – С. 587–605. – URL : <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf>

13. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – 052002. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052002.

14. Подход к определению магнитных параметров компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 10(114). – С. 182–201.

15. Карандей В.Ю. Концепция расчета магнитной системы асинхронного двигателя специального электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных заведений, Пищевая технология. Научно-технический журнал. – 2008. – № 1. – С. 101–103.

16. Карандей В.Ю. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06(120). – С. 575–586. – URL : <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>

17. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06(120). – С. 563–574 – IDA [article ID]: 1201606039. – URL : <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf>

18. Карандей В.Ю. Определение токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных заведений, Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 91–96.

АНАЛИЗ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА В СПЕЦИАЛЬНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ

Афанасьев Виктор Леонидович	Кубанский государственный технологический университет старший преподаватель
Карандей Юрий Юрьевич	Кубанский государственный технологический университет аспирант
Постушенко Андрей Игоревич	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Этезов Аслан Зупарович	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Нестеров Егор Максимович	Кубанский государственный технологический университет магистрант
Гюрджян Левон Нерсесович	Кубанский государственный технологический университет магистрант

Аннотация. В статье представлен анализ определения момента в каскадных асинхронных электрических приводах. В качестве объекта исследования были выбраны специальные типы электрических приводов с асинхронными двигателями, обладающие рядом преимуществ по сравнению с однодвигательными электрическими приводами.

Ключевые слова: специальный асинхронный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электрический привод, математическое моделирование, электромагнитное поле, электромагнитная система, электромагнитный момент, электромеханическое преобразование энергии.

Определение усилия [1–2] и момента [3–4] каскадных асинхронных электрических приводах является сложной задачей. Предлагается рассмотреть способ определения момента с помощью вычисления накопленной устройством электромагнитной энергии в рассматриваемый момент времени [5–7]. При этом необходимо знать токи [8–10], электродвижущие силы [11–13], соответствующие им потокосцепления в роторе и статоре, фазные углы этих величин и взаиморасположение осей поля статора и ротора [14–16]. Наиболее целесообразным способом определения усилия и момента является метод, основанный на электромеханическом преобразовании энергии [17–18], позволяющий получить хорошее совпадение расчета с экспериментальными данными.

Целью является анализ способа определения момента в специальных асинхронных электрических приводах с использованием электромеханического преобразования энергии.

Рассмотрим подход к определению момента в асинхронных электрических приводах и их компонентах, для того чтобы определить механические характеристики электропривода. Составим уравнение момента для идеализированного компонента

$$M_{EM} = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL_a}{dQ} + \frac{1}{2} i_x^2 \frac{dL_x}{dQ} + i_a i_x \frac{dL_{ax}}{dQ}, \quad (1)$$

где i_a – ток статора; i_x – ток ротора; L_a – индуктивность статора; L_x – индуктивность ротора; L_{ax} – индуктивность статора относительно ротора; Q – угловое положение подвижной части (ротора).

Такой подход позволит довольно точно определять усилия и момент в специальных асинхронных каскадных электрических приводах, а также электромеханические и механические характеристики.

Список литературы:

1. Сериков А.В., Суздорф В.И. Моделирование электромагнитных процессов в коллекторных электродвигателях с питанием от статических преобразователей // Электротехника. – 2016. – № 12. – С. 39–44.
2. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – 052003. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052003.
3. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06(120). – С. 587–605. – URL : <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf>
4. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – 052002. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052002.
5. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2461947 зарегистрировано 20.09.2012 г.
6. Карандей В.Ю. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Патент на изобретение № 2483415 зарегистрировано 11.03.2013 г.
7. 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.
8. Карандей В.Ю. Токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2370869 зарегистрировано 30.06.2008 г.
9. Карандей В.Ю. Сигнализирующее токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Патент на изобретение № 2601958 от 27.07.2015 г, зарегистрировано 18.10.2016 г.
10. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, А.В. Базык // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2015615828, зарегистрировано 25.05.2015 г.
11. Попов Б.К. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008 г.
12. Карандей В.Ю. Программа для расчета магнитной системы ротора методом магнитных цепей / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS № 2008614047, зарегистрировано 30.06.2008 г.
13. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потокораспределения / В.Ю. Карандей // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS № 2015615827, зарегистрировано 27.03.2015 г.
14. Подход к определению магнитных параметров компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 10(114). – С. 182–201.

15. Карандей В.Ю. Концепция расчета магнитной системы асинхронного двигателя специального электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. Научно-технический журнал. – 2008. – № 1. – С. 101–103.

16. Карандей В.Ю. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06(120). – С. 575–586. – URL : <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf>

17. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06(120). – С. 563–574 – IDA [article ID]: 1201606039. – URL : <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf>

18. Карандей В.Ю. Определение токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных заведений, Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 91–96.

УДК 678.026.3:678.7

ПОЛИМЕРНО-ПОРОШКОВЫЕ ПОКРЫТИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ

**Мухаметшина
Елнара Сулудин Кызы**

Казанский Государственный Энергетический Университет
канд. техн. наук, доцент кафедры «Материаловедение и техно-
логии материалов»

**Ваганов
Михаил Сергеевич**

Казанский Государственный Энергетический Университет
студент

Аннотация. На основании проведенных исследований выбраны порошковые композиции и определены их оптимальные составы, режимы их нанесения и формирования с целью получения светоотражающие покрытий с требуемыми оптическими и другими требуемыми техническими характеристиками.

Ключевые слова: порошковые композиции, оптимальные составы, нанесение, защитные покрытия, оптические характеристики, технические характеристики, светоотражающие покрытия.

В настоящее время среди разнообразных методов нанесения покрытий, выделяются технология, базирующаяся на применении полимерных порошковых композиций (ППК) – инновационные альтернативы традиционным жидким лакокрасочным материалам. ППК проявили себя как многофункциональные материалы, полученные на их основе высококачественные покрытия, сочетают в себе повышенные эксплуатационные и механические свойства. Механизация и автоматизация данной технологии существенно сокращает технологический цикл нанесения покрытий, способствует уменьшению расхода и потерь материала, а также исключает загрязнение окружающей среды.

В данной работе представлены результаты научных исследований [1, 2], посвященных методам нанесения покрытий специального назначения на различные поверхности материалов, а также разработке комплекса специализированного оборудования с целью осуществления технологических процессов.

Разработанный электростатико-термогазодинамический метод наиболее близок к газопламенному напылению с одновременным применением высоковольтного электростатического поля. Предлагаемый способ отличается от газопламенного способа «мягкостью» нагрева КПП, что исключает возможность нежелательных физико-химических превращений, таких как термодеструкция, структурирование и прочие.

Специализированный комплекс оборудования для нанесения порошковых полиэфирных покрытий (ППК) методом электростатико-термогазодинамического воздействия включает в себя ряд ключевых элементов. Среди них порошковый питатель, оборудованный пневматической панелью управления, блок подготовки воздуха, компрессор для поставки сжатого воздуха, система подачи газа с соответствующей контрольно-регулирующей аппаратурой. Дополнительно, комплекс включает два термогенератора, оснащенных оптическими измерителями температуры (оптическими пирометрами). Все узлы размещены на передвигаемой технике, оборудованной автономным приводом.

Термогенераторы расположены на каретке с возможностью регулирования высоты от сопла распылителя до поверхности изделия и межосевого расстояния. Параметры регулировки оптимизированы так, чтобы оптическая ось термогенераторов проходила через центр предполагаемого отпечатка факела.

Отличительной особенностью предложенного оборудования является возможность формирования покрытий на различных материалах и изделиях в течение всего нескольких секунд, что отличается от процесса, осуществляемого на стационарном оборудовании, где для образования покрытий на поверхности изделий требуется под-

держание определенных температурных интервалов (70–200 °С) в течение 10–15 минут, а также применение стационарных установок полимеризации (сушильных камер).

Первый термогенератор выполняет функцию безокислительного нагрева поверхности, предназначенной для окрашивания, до установленной температуры. Следующий термогенератор, оборудованный специализированной насадкой, в которую подается заряженная порошково-воздушная смесь (ПВС), осуществляет прямой процесс формирования (пленкообразования) покрытия на предварительно подогретой поверхности. При установленной температуре происходят физико-химические превращения в составе порошкового полиэфирного покрытия (ППК), и покрытие формируется за краткое время, в течение нескольких секунд.

Автоматическая система управления поддерживает все технологические параметры процесса. Каждый термогенератор, типа ТГГ-20, с тепловой мощностью не менее 20 кВт в номинальном режиме, получает газ из индивидуального баллона с пропаном и бутаном. Подача газа регулируется с использованием редуктора давления газа. Воздух подается к термогенератору от индивидуального авиационного вентилятора ДВ-201 с номинальной производительностью около 87 г/с.

Порошково-воздушная смесь подготавливается в специальном порошковом питателе. В узле псевдооживления осуществляется подача воздуха через пористую пластину, представляющую собой оживающую решётку. Оживленный порошок подсасывается встроенным эжектором, после чего порошково-воздушная смесь направляется в технологический отсек теплогенератора горелочного устройства (ТГГ). Для процесса осыпания порошка применяются два пневмовибратора (ПВ), распределенные по высоте резервуара порошка. Регулирование подачи порошково-воздушной смеси осуществляется при помощи специального клапана, который управляет положением активного сопла эжектора. Это сопло перекрывает доступ порошково-воздушной смеси в камеру смешения, предотвращая её попадание туда. Вместе с этим происходит продувка тракта подачи порошково-воздушной смеси сжатым воздухом.

Осушка поступающего воздуха осуществляется в блоке подготовки воздуха, включающем в себя адсорбер, заполненный силикагелем. Распределение воздуха с необходимым давлением среди потребителей порошковой смеси выполняется с использованием пневмопанели, а разводка осуществляется с использованием гибких шлангов.

Для инициирования процесса горения в теплогенераторе горелочного устройства (ТГГ) используется автомобильная искровая свеча, управляемая специальным блоком искрового розжига, который генерирует высоковольтные импульсы.

Для создания электростатического поля используется стандартная система высоковольтной генерации, включающая в себя блок питания, генератор и умножитель. Электрическое оборудование питается от внешнего источника тока напряжением 24 В, подводимого через специальную колодку питания.

Все устройства, за исключением двух газовых баллонов, обладающих значительной массой (приблизительно 100 кг), размещаются на ручной неповоротной 4-колесной тележке.

Аппарат для распыления предназначен для загрузки необходимого количества порошкообразного полимера в приемную емкость и дозированной подачи его к распылительному устройству в автоматическом режиме. Аппарат для распыления включает в себя каркас с пневматическим и электрическим пультом, порошковый питатель, пневмо- и электрооборудование, а также блок подготовки воздуха. Порошковый питатель интегрирован в состав аппарата для распыления и предназначен для дозированной подачи порошкообразного полимера к распылительному устройству.

Питатель состоит из цилиндрического корпуса с коническим днищем, заканчивающимся камерой наддува с фильтрующим элементом из специальной пористой стали, эжектора в зоне камеры наддува, крышки, с установленной на ней клапаном сброса электромагнитного вибратора. В зоне камеры наддува смонтирован диафрагменный исполнительный механизм, центральный стержень которого выполнен в виде эжекторного сопла. Коническое днище корпуса внутри закрыто специальным фильтровальным мешком, образующим пространство с целью подачи сжатого воздуха для разрушения объема загруженной в питатель порошковой композиции.

Распылительное устройство предназначено для получения качественных покрытий из труднонапыляемых порошковых композиций типа порошковый полиэтилен, пентопласт, фторопласт, полифениленсульфид и т.д., которые при перемещении легко электризуются и имеют склонность к «комкованию».

Для оптимизации и интенсификации процессов нанесения порошковых покрытий были проведены комплексные исследования, включая пилотные испытания опытного устройства на специально собранном стенде в «Отраслевой лаборатории горения в потоке» КНИТУ-КАИ.

Кроме того, в рамках данной работы проведены исследования по разработке технологии нанесения светоотражающих порошковых покрытий на основе атмосферостойких ППК на различные изделия, включая информационные дорожные знаки. Необходимость данной разработки обусловлена фактическим отсутствием в Российской Федерации конкурентоспособных отечественных технологий и оборудования для нанесения светоотражающих покрытий на дорожные знаки, обеспечивающих достаточный срок службы и обладающих более привлекательными стоимостными характеристиками, что делает данное направление разработки актуальным и важным для российской индустрии.

Разработка технологии нанесения светоотражающих порошковых покрытий была направлена на комплексное решение следующих задач:

1. Выбор подходящих ППК, отбор порошковых композиций с полиэфирным связующим, обладающих высокой адгезией, коррозионной стойкостью и атмосферостойкостью, а также стабильностью пигментов при воздействии ультрафиолетовых лучей.
2. Выбор светоотражающих компонентов, исследование и определение оптимальной дисперсности стеклянных микросфер с учетом их оптических характеристик.
3. Исследование процесса смачивания микросфер, определение закономерностей смачивания микросфер в процессе формирования покрытия с целью оптимизации процесса.
4. Оценка светоотражающих характеристик, оценка коэффициента отражения света для определения эффективности светоотражающего покрытия, соответствие требованиям, предъявляемым к светоотражающим покрытиям в контексте их применения.

В данной работе в качестве пленкообразующего материала успешно использована полиэфирная порошковая композиция, обладающая не только высокой адгезией и устойчивостью к коррозии. В качестве светоотражающих элементов были выбраны стеклянные микросферы, которые в процессе полимеризации определенным образом распределяют на поверхности пленкообразующего материала.

Для достижения высокого качества светоотражающих покрытий мы провели комплексную оценку реологических свойств и расчеты краевого угла смачивания полиэфирного связующего с микросферами различной дисперсности. Оценка глубины утопания микросфер в покрытие была осуществлена для оптимизации процессов нанесения.

Основной фотометрической характеристикой отраженного света является коэффициент отражения, который был измерен с использованием спектрофотометра СФ-18. Кроме того, образцы были подвергнуты испытаниям на адгезионную прочность, гибкость покрытия, ударную прочность и коррозионную стойкость с использованием стандартных методов.

По результатам экспериментальных исследований определены основные характеристики светоотражающих покрытий на базе полиэфирных ППК и отработана технология их нанесения.

Технологический процесс включает в себя следующие этапы: подготовка поверхности подложек, нанесение порошкообразного полиэфирного покрытия в электростатическом поле, предварительная полимеризация, нанесение закрепляющего слоя, нанесение светоотражающего покрытия и окончательная полимеризация.

Список литературы:

1. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. – М. : Машиностроение, 1978. – 295 с.
2. Покрытия на основе порошковых материалов и методы их нанесения // Обзор. инф. Серия: Технология лакокрасочных покрытий. – М. : НИИТЭХИМ, 1981. – 28 с.

УДК 621.313-57+621.316.925

АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ 110 КВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Карандей
Владимир Юрьевич**

Кубанский государственный технологический университет
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
электроснабжения промышленных предприятий

**Антипов
Даниил Сергеевич**

Краснодарское ТСП АО «ЦИУС ЕЭС» – «ЦИУС Юга»
ведущий специалист

**Афанасьев
Виктор Леонидович**

Кубанский государственный технологический университет
старший преподаватель

**Карандей
Юрий Юрьевич**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант

Аннотация. В статье приведен анализ работы электрических подстанций 110 кВ в зависимости от температуры.

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

Повышение температуры кабельных линий, воздушных линий, коммутационных аппаратов и другого электрооборудования, установленного в КРУ, ЗРУ, КРУЭ и ОРУ вызвано высокими температурами, летними и зимними пиковыми нагрузками потребления электроэнергии в сети [1, 2]. Превышение температуры в элементах системы электроснабжения приводит к эксплуатационным проблемам в электроэнергетических системах [3, 4]. Снижение напряжения приводит к нестабильной работе элементов систем электроснабжения, уменьшая эффективность, что может приводить к перегреву или выходу из строя электрооборудования, поломкам, увеличению износа и возгорания [5, 6].

Для обеспечения 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 110 кв.

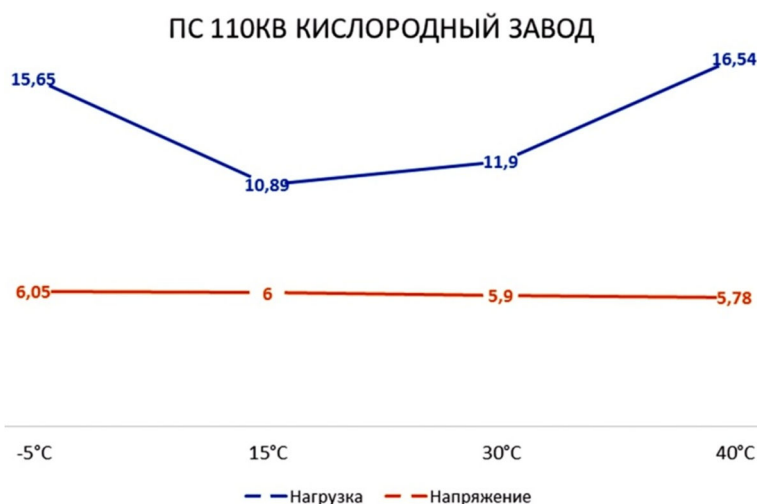


Рисунок 1 – Зависимость нагрузки и напряжения от температуры на ПС 110кВ Кислородный завод

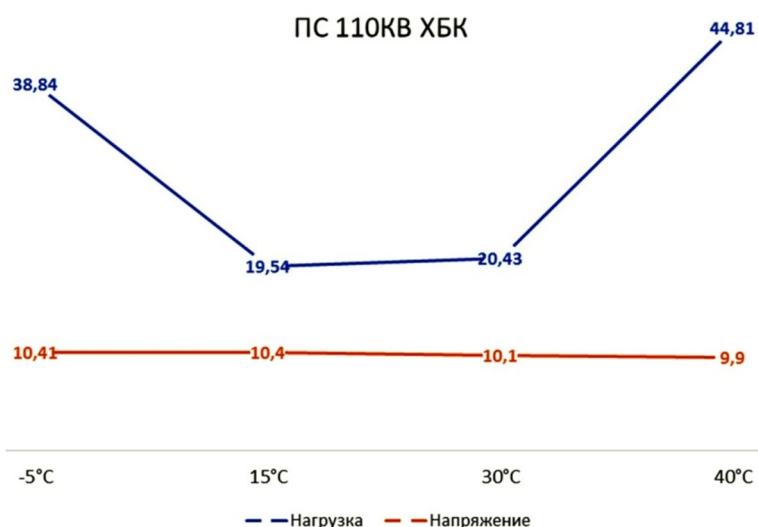


Рисунок 2 – Зависимость нагрузки и напряжения от температуры на ПС 110кВ ХБК

Исследование режимов работы электрических подстанций 110 кв в зависимости от температуры позволит производить математическое моделирование электроэнергетического комплекса [7, 8] и оценить степень влияния пониженного напряжения на эффективность их работы системы электроснабжения и электрооборудования.

Список литературы:

1. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 494 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
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.
7. Математическое моделирование трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой для преобразования однофазного тока в шестифазное напряжение / Б.А. Коробейников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2023. – Т. 66. – № 1. – С. 95–100.
8. Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М., Сидоров Д.И. Аналитическое решение уравнения в пространстве состояний для анализа переходных процессов асинхронного двигателя // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2023. – № 3. – С. 154–162.

УДК 621.317.711

ВАРИАНТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ УКАЗАТЕЛЕЙ ПРОХОЖДЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОВРЕЖДЁННОГО УЧАСТКА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

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 и радиоэлектронного оборудования jlms@mail.ru
Пешков Артём Васильевич	АО «Электросети Кубани» начальник службы релейной защиты, автоматики и изоляции
Шаршак Алексей Александрович	Кубанский государственный технологический университет ассистент кафедры электротехники и электрических машин vip.sharshak@mail.ru
Шестаков Фёдор Алексеевич	Кубанский государственный технологический университет студент mr.fedor2002@mail.ru
Кузнецов Дмитрий Николаевич	Кубанский государственный технологический университет студент market.desire.s@gmail.com

Аннотация. В статье представлены основные сравнительные характеристики структурных элементов, входящих в состав указателей прохождения токов короткого замыкания. Представлено направление модернизации УТКЗ.

Ключевые слова: указатель прохождения токов короткого замыкания, индикатор тока короткого замыкания, гальваническая развязка.

Указатели прохождения токов короткого замыкания (далее – УТКЗ) представляют собой индикаторные запоминающие устройства, предназначенные для фиксации прохождения повышенных токов через систему шин трансформаторной подстанции в направлении отходящих линий фидеров.

УТКЗ служат для локализации повреждённого участка кабельной линии между трансформаторными подстанциями (рис. 1) [1]. Индикация текущего состояния УТКЗ (ожидание/авария) может быть выполнена как с использованием внешних оптических устройств (лампы, светодиоды, флажки, бленкеры), так и с возможностью дублирования сигнала на устройства телемеханики.

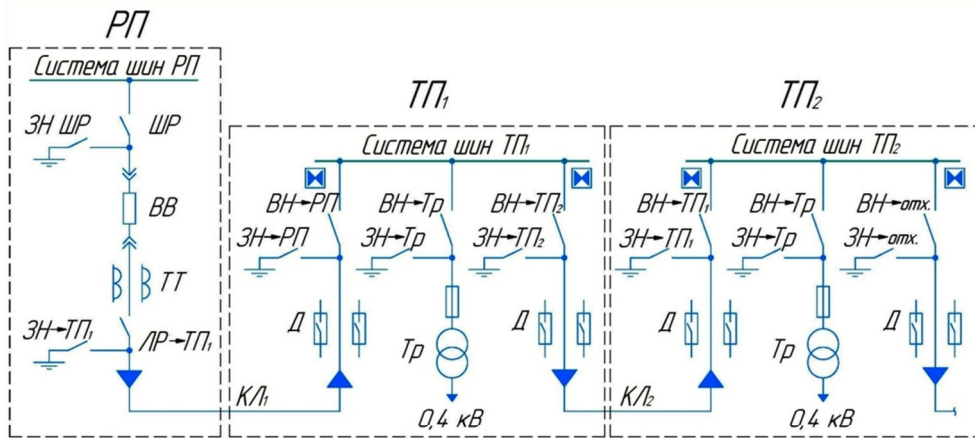
УТКЗ состоит из индикаторного устройства, логического элемента, блока питания и датчика прохождения тока короткого замыкания (рис. 2)

Индикаторное устройство служит для информирования диспетчерского или оперативного персонала о текущем состоянии УТКЗ и режиме его работы.

Логический элемент является запоминающим узлом с возможностью фиксации текущего и восстановления исходного состояния УТКЗ, преобразующее сигнал с датчика в отображаемый на индикаторном устройстве. Обычно выполняется на основе электронного транзисторного или тиристорного ключа и полупроводникового реле. В более современных вариантах исполнения содержит элемент в виде энергонезависимой памяти.

Блок питания представляет собой преобразователь формы и амплитуды входного напряжения в рабочее напряжение логического элемента. Обычно представляет

собой диодный мост по схеме Греча или совокупность понижающего трансформатора, диодного моста и сглаживающего фильтра. Второй вариант используется реже, поскольку питание УТКЗ в основном осуществляется от цепей учёта, цепей собственных нужд или цепей оперативного тока трансформаторной подстанции.



РП – Распределительный пункт 10 (6) кВ

ТП – Трансформаторная подстанция

ШР – Шинный разъединитель

ЛР – Линейный разъединитель

ВВ – Высоковольтный выключатель

ТТ – Трансформаторы тока

ЗН – Заземляющие ножи

ВН – Выключатель нагрузки

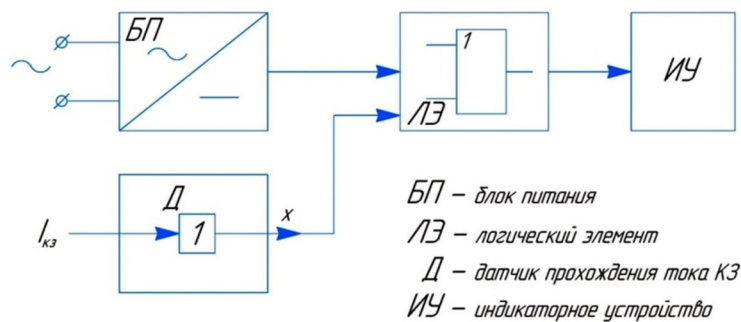
ТР – Трансформатор 10(6)/0,4 кВ

КЛ – Кабельная линия электропередачи

Д – Датчики прохождения тока КЗ

☒ – Указатели прохождения токов короткого замыкания

Рисунок 1 – Места установки УТКЗ на однолинейной схеме электроснабжения цепочки трансформаторных подстанций



БП – блок питания

ЛЭ – логический элемент

Д – датчик прохождения тока КЗ

ИУ – индикаторное устройство

Рисунок 2 – Структурная схема УТКЗ

Датчик представляет собой устройство преобразования тока, протекающего по шинам трансформаторной подстанции в сигнал логического элемента. В наиболее простых конструкциях роль датчиков выполняют герконы, условия срабатывания которых изменяются путём регулировки их положения относительно токоведущих частей в ячейках отходящих линий. Также датчик выполняет функцию гальванической развязки между силовыми цепями высокого напряжения и слаботочными цепями логического элемента.

Основным недостатком существующих конструкций отечественных УТКЗ является их низкая надёжность, вследствие неустойчивости к перенапряжениям по стороне 0,4 кВ трансформаторной подстанции (вместо номинальных 220 В на вход УТКЗ в отдельных случаях поступает 250 В и выше) [2–3]. Другой причиной частого выхода УТКЗ из строя является перегорание электронных ключей вследствие наведённого ЭДС в цепи между датчиком и логическим элементом при протекании тока КЗ.

Основным направлением модернизации УТКЗ российского производства является повышение надёжности и функционала устройств. Повышение надёжности возможно путём замены типа датчиков (табл. 1) и архитектуры схемы логического элемента (табл. 2).

Таблица 1 – Сравнительные характеристики датчиков прохождения тока короткого замыкания

№ п/п	Тип датчика	Преимущества	Недостатки
1	Герконовый	– простота конструкции – низкая стоимость – малый вес и небольшие габаритные размеры	– невозможность получения выходной зависимости сигнала от величины тока – низкая устойчивость к наведённым электромагнитным полям – необходимость механической регулировки уставки срабатывания датчика путём изменения его положения относительно токопроводящих частей
2	Трансформатор тока с металлическим сердечником	– возможность измерения величины протекающего тока	– большие габаритные размеры – высокая опасность при повреждении обмоток и обрыве вторичных цепей
3	Датчики тока на основе катушек Роговского	– компактные размеры – безопасность использования – низкое напряжение выходного сигнала в нормальном режиме работы – простота установки	– неустойчивость к импульсным перенапряжениям – более низкая чувствительность по сравнению с трансформатором тока
4	Датчики Холла	– низкие габаритные размеры – возможность использования для измерения величины постоянного тока	– низкая устойчивость к электромагнитным помехам
5	Волоконно-оптический преобразователь тока	– отсутствия эффектов насыщения и гистерезиса при коротких замыканиях на линии – устойчивость к электромагнитным помехам – измерение параметров тока без дополнительных потерь в линии	– сложность конструкции – высокая стоимость

Таблица 2 – Сравнительные характеристики логических элементов

№ п/п	Тип элемента	Преимущества	Недостатки
1	Релейный (на основе поляризованного реле или механического релейного преобразователя)	– простота конструкции – высокая ремонтпригодность – энергонезависимая фиксация положения индикатора	– невозможность измерения величины протекающего тока короткого замыкания – низкая надёжность вследствие наличия подвижных элементов
2	Электронный (на основе микроконтроллерных или микропроцессорных устройств)	– возможность измерения значений токов короткого замыкания и определения типа КЗ	– низкая ремонтпригодность – сложность конструкции – неустойчивость к внешним наведённым ЭДС

Перспективным направлением модернизации наиболее распространённых в настоящее время УТКЗ-2 является замена типа датчика с геркона на датчик холла с оптическим преобразователем сигнала, что позволит обеспечить полную гальваническую развязку цепи датчика и цепи логического элемента [4] (рис. 3).

Замена типа связи между датчиком и логическим элементом с гальванической на оптическую позволит повысить устойчивость устройств к наведённым ЭДС в цепи

датчика при прохождении токов короткого замыкания через токоведущие части высоко-го напряжения трансформаторной подстанции.

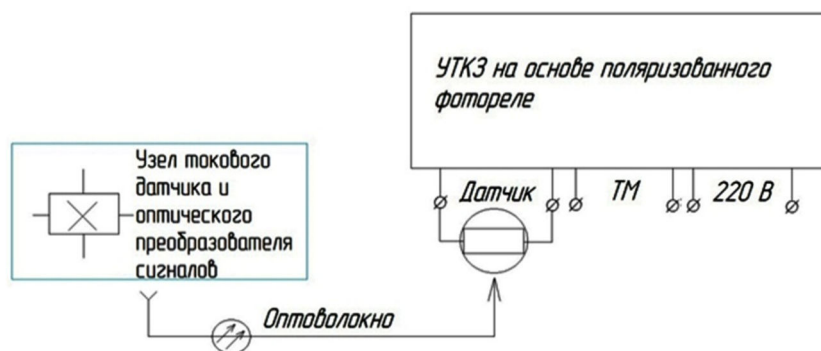


Рисунок 3 – Структурная схема модернизированного УТКЗ-2

Список литературы:

1. Кириллов Г.А. Теория и практика поиска отказов в кабельных линиях электропередачи : монография / КВВАУЛ. – Краснодар, 2006.
2. Демченко В.Т. Герконный указатель места прохождения токов короткого замыкания в электрических сетях 6-10 кВ // Прикладные задачи энергетических и электромеханических систем. Труды ВНТОЭ. – Краснодар : Краснодарское краевое правление, 1990.
3. Пат. 2047868 RU. 29.07.1992. Указатель прохождения тока короткого замыкания / Демченко В.Т. // Опубл. 10.11.1995
4. Модернизация указателей прохождения токов короткого замыкания на подстанциях краснодарских электросетей / Я.М. Кашин [и др.] // Повышение эффективности разработки нефтяных и газовых месторождений на поздней стадии материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию КубГТУ. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2023. – С. 116–121.

УДК 621.31

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ РЕЗЕРВНОГО И АВАРИЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Киселев
Сергей Петрович

Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков
преподаватель кафедры авиационного и радиоэлектронного
оборудования

Аннотация. В работе представлен обзор перспективных устройств для систем резервного и аварийного электроснабжения воздушных судов.

Ключевые слова: источник электроэнергии, генератор, трансформатор, индукционный регулятор

Источники электрической энергии на воздушном судне (ВС) предназначены для выработки электрической энергии с требуемыми параметрами. Для обеспечения надежного функционирования системы электроснабжения (СЭС) в них, как правило, предусматриваются основные, резервные и аварийные источники электроэнергии.

Основные источники обеспечивают потребителей электроэнергией в нормальных условиях полета самолета. Суммарная мощность первичных источников электроэнергии (генераторов) довольно высока и составляет от 20 кВт (кВ·А) на легких самолетах до 500–800 кВт (кВ·А) – на тяжелых.

Резервные источники обеспечивают потребителей электроэнергией при недостатке мощности в СЭС, обусловленном отказами или отключением части основных источников. Аварийные источники электроэнергии предназначены для питания жизненно важных для самолета систем в особых случаях в полете, связанных с отказом основных и резервных источников [1].

Наилучшим образом для резервного и аварийного электропитания воздушного судна (ВС) подходят авиационные аварийные турбины [2–3]. Они представляют собой достаточно простые и эффективные устройства для получения энергии при полёте (планировании) ВС. В состав этих турбин входят лопасти, преобразующие кинетическую энергию ветра в механическую энергию вращения и собственно электрические генераторы, преобразующие механическую энергию вращения в электроэнергию.

В качестве электрических генераторов для аварийных систем электроснабжения для минимизации массы ВС целесообразно использовать конструкции, в которых турбинная часть совмещена с ротором генератора. Это генераторы с конической конструкцией ротора и с закрепленными на роторе лопастями [4–6].

В качестве преобразователей уровня переменного напряжения в систему электроснабжения целесообразно установить многофазные трансформаторы [6–8]. Достоинством таких трансформаторов является высокая надежность (выход из строя одной фазы меньше влияет на работоспособность трансформатора), а также возможность получения более качественного напряжения постоянного тока. Уровень пульсаций выпрямленного напряжения у таких трансформаторов существенно ниже уровня пульсация выпрямленного напряжения, полученного посредством трехфазных трансформаторов.

Для регулирования напряжения по фазе в КВВАУЛ совместно со специалистами кафедры электротехники и электрических машин Кубанского технологического университета разработаны фазорегуляторы [8–10]. Следует отметить, что эти конструкции выполняют как роль фазорегуляторов, так и трансформаторов.

Для регулирования напряжения по величине разработаны индукционные регуляторы напряжения [11–15]. Особенностью сдвоенного индукционного регулятора [15–17] является то, что при регулировании напряжения по величине его фаза остаётся неизменной.

Аксиальные фазорегуляторы [8–10] можно использовать также в качестве пассивных синхронизаторов [12] для синхронизации выходного напряжения генераторов при их параллельной работе, так как расхождение нагрузки между параллельно рабо-

тающими генераторами в СЭС постоянного тока допускается не более 10 % от номинальной мощности генераторов, а в СЭС переменного тока – 8 и 6 % для активных и реактивных нагрузок, соответственно, от номинальной мощности канала.

В качестве бортовых аварийных источников постоянного тока используют свинцовые (12-САМ-28, 12-АСАМ-23, 12-САМ-55), серебряно-цинковые (15-СЦС-45) и никель-кадмиевые (20-НКБН-25) аккумуляторные батареи.

Список литературы:

1. Кашин Я.М. Авиационное оборудование самолетов. Часть 1: учебное пособие / Я.М. Кашин, Г.А. Кириллов, А.В. Ракло. – Краснодар, 2006.
2. Современное состояние аварийных авиационных турбин и их классификация / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2017. – № 1 (196). – С. 112–122.
3. Состояние и перспективы развития авиационных ветроэнергетических комплексов для аварийных систем электроснабжения воздушных судов / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 1 (236). – С. 93–102.
4. Пат. 2688925 RU. 22.03.2018. Стабилизированный вентильный аксиально-конический ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // Оpubл. 23.05.2019 г. Бюл. № 15.
5. Пат. 2738435 RU, 11.03.2020. Вентильный ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 17.11.2020. Бюл № 35.
6. Пат. 2736326 RU, 11.03.2020. Бесконтактный двухпакетный ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 13.11.2020. Бюл. № 32.
7. Пат. 2249871 RU. 20.09.2004. Многофазный трансформатор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова // Оpubл. 10.04.2005. Бюл. № 10.
8. Пат. 29624 RU. 3.03.2003. Аксиальный многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, В.И. Шипалов // Оpubл. 20.05.2003. Бюл. № 14.
9. Пат. 29624 RU. 3.03.2003. Аксиальный многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, В.И. Шипалов // Оpubл. 20.05.2003. Бюл. № 14.
10. Пат. 2686084 RU. 06.08.2018. Аксиальный многофазный стабилизируемый трансформатор-фазорегулятор / Я.М. Кашин, А.Б. Варенов // Оpubл. 24.04.2019 г. Бюл № 12.
11. Пат. 2216091 RU. 01.11.2001. Многофазный аксиальный индукционный регулятор // Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, И.П. Рябчун, А.Ю. Яковенко, С.В. Божко // Оpubл. 10.11.2003. Бюл. № 31.
12. Гуйдалаев М.Г. Совершенствование системы электроснабжения летательных аппаратов на основе разработки аксиальных электромагнитных преобразователей энергии : дисс. ... канд. техн. наук / ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар, 2007.
13. Пат. 2168785 RU. 06.04.1998. Аксиальный индукционный регулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, А.Ю. Савченко, С.Р. Шарифуллин // Оpubл. 10.06.2001. Бюл. № 16.
14. Пат. 2256973 RU. 30.12.2003. Аксиальный индукционный регулятор // Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова // Оpubл. 20.07.2005. Бюл. № 20.
15. Пат. 2170971 RU. 31.03.1999. Сдвоенный аксиальный индукционный регулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, Ф.М. Ариди, А.П. Майоров // Оpubл. 20.07.2001. Бюл. № 20.
16. Батоврин А.А. Погрешности электромашинного фазовращателя с вращающимся реверсируемым магнитным полем // В кн.: Точное приборостроение [Межвузовский сборник] . – Л. : Изд-во ЛГУ, 1978. – С. 94–99.
17. Батоврин А.А. Электромашинные фазовращатели. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1986. – 124 с.

УДК 621.31

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ МАССЫ МНОГОФАЗНОГО ВЕТРОГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Князев
Алексей Сергеевич**

**Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков имени А.К. Серова**
старший преподаватель кафедры авиационного
и радиоэлектронного 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

**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

**Трескинская
Анастасия
Александровна**

Кубанский государственный технологический университет
магистрантка
tress2001@mail.ru

Аннотация. В статье представлен конструкция разработанного авторами ветрогенератора и расчёт его массы посредством разработанных авторами методик.

Ключевые слова: ветрогенератор, магнитопровод, лопасти, центробежные грузы.

Аварийная система электроснабжения имеет важное значение в обеспечении работоспособности всего оборудования транспортных средств. В случае возникновения нештатных ситуаций, связанных с отказом основных источников электроэнергии на борту транспортного средства (например, воздушного или морского судна) жизнь экипажа и пассажиров зависит от работы аварийных систем. В силу того, что в настоящее время увеличивается степень электрификации бортового оборудования, повышение надёжности работы системы электроснабжения приобретает ещё важное значение. В качестве запасных источников электроэнергии целесообразно использовать генераторы, преобразующие энергию ветра в электроэнергию. Для этого авторами разработан и исследован ряд генераторов и генераторных установок [1–5], а также произведен расчёт их параметров [6–8].

В качестве примера приведем многофазного ветрогенератор [1], сконструированный авторами для гибридного энергетического комплекса.

На рисунке 1 обозначено: 1 – ступица, 2 – лопасти, 3 – магнитопровод индуктора, 4 – постоянные магниты, 5 – поворотные оси, 6 – сжатые пружины, 7 – ролики, 8 – тросы, 9 и 10 – ролики, 11 – обтекатель, 12 – вентиляционные отверстия, 13 – вал, 14 – диск, 15 – передний подшипник, 16 – многофазная обмотка якоря, 17 – магнитопровод якоря, 18 – регулятор напряжения, 19 – кронштейны, 20 – центробежные грузы, 21 – растянутые пружины, 22 – задний подшипник, 23 – упорная шайба, 24 – неподвижная платформа, 25 – штанга-держатель.

Многофазный ветрогенератор переменного тока работает следующим образом. При набегании ветра на обтекатель 11 и лопасти 2 его кинетическая энергия посредством лопастей 2 преобразуется в механическую энергию вращения. Набегающий воздушный поток посредством обтекателя 11 разделяется на два контура. Воздушный поток первого воздушного контура воздействует на лопасти 2 и приводит наружный ротор во вращение.

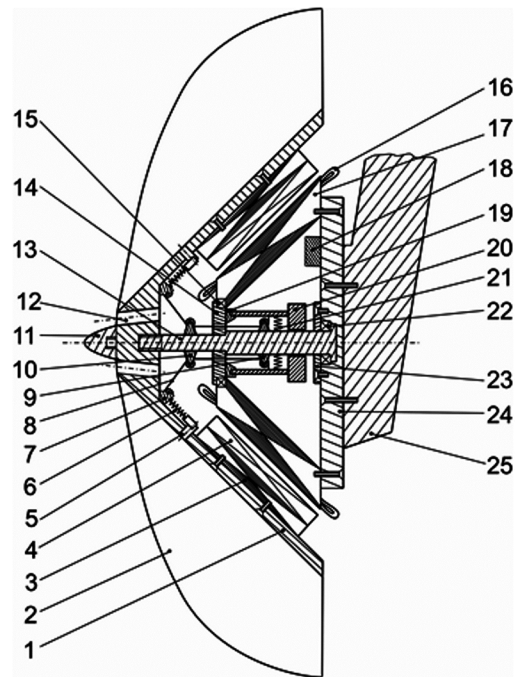


Рисунок 1 – Общий вид многофазного ветрогенератора переменного тока в разрезе

Воздушный поток второго воздушного контура, направленный обтекателем 11 через входные вентиляционные отверстия 12 во внутреннюю полость ветрогенератора, охлаждает расположенные в этой полости узлы (передний 15 и задний 22 подшипники, магнитопровод 3 индуктора с постоянными магнитами 4, магнитопровод 17 якоря с многофазной обмоткой 16 якоря).

При вращении наружного ротора с закрепленными на его внутренней поверхности магнитопроводом 3 индуктора с постоянными магнитами 4 магнитный поток постоянных магнитов 4 взаимодействует с многофазной обмоткой 16 якоря. В результате этого взаимодействия в многофазной обмотке 16 якоря генератора наводится многофазная система ЭДС, которая через регулятор напряжения 18 подается в сеть.

Благодаря выполнению магнитопроводов индуктора 3 и якоря 17 в форме усеченного конуса при вращении наружного ротора под действием центробежных сил возникает ускорение движения воздушного потока через воздушный зазор в окружающую атмосферу. Это способствует эффективному охлаждению генератора.

Автоматическая стабилизация частоты вращения наружного ротора осуществляется следующим образом. Частота выходного напряжения определяется частотой вращения наружного ротора с магнитопроводом 3 индуктора относительно внутреннего статора с магнитопроводом 17 якоря и многофазной обмотки 16 якоря.

При номинальной частоте вращения наружного ротора центробежные грузы 20 под действием центробежных сил и сил упругости растянутых пружин 21 удерживаются относительно вала 13 в среднем положении. При этом лопасти 2 под действием сил упругости сжатых пружин 6 и при помощи тросов 8 также удерживаются в среднем положении. Коэффициент упругости пружин 6 и 21 выбирается таким образом, чтобы центробежные грузы 20 находились в среднем положении при номинальной частоте вращения наружного ротора.

Если частота вращения наружного ротора становится выше номинальной, то центробежные силы, действующие на центробежные грузы 20, увеличиваются. При этом центробежные грузы 20 удаляются от вала 13, прижимаясь к внутренней поверхности магнитопровода 17 якоря, а растянутые пружины 21 растягиваются сильнее. При удалении центробежных грузов 20 от вала 13, тросы 8, протянутые через систему роликов 7, 9 и 10 перемещаются. Вследствие этого поворотные оси 5 поворачиваются и сильнее сжимают сжатые пружины 6. При этом лопасти 2, жестко связанные с поворотными осями 5, также поворачиваются, причём разворот лопастей 2 происходит таким образом, что угол атаки лопастей 2 уменьшается. Вследствие этого воздушный

поток первого воздушного контура оказывает на лопасти 2 меньшее воздействие, давление воздушного потока на лопасти 2 уменьшается, следовательно, частота вращения наружного ротора уменьшается до номинального значения.

Если частота вращения наружного ротора становится ниже номинальной, то центробежные силы, действующие на центробежные грузы 20, уменьшаются, и частота вращения наружного ротора увеличивается до номинального значения аналогичным образом.

Массу генератора рассчитаем так:

1. Площадь поперечного сечения паза, м²

$$Q_{II} = (h_{II} - h_{yc}) \cdot b_{II} = (0,00715 - 0,001) \cdot 0,00475 = 2,92 \cdot 10^{-5}$$

2. Масса зубцов якоря, кг

$$\begin{aligned} m_{Z_{ЯК}} &= (\pi \cdot (D_{э\text{-}окр} + (h_{II} + \delta) \cdot \cos(\alpha)) \cdot h_{II} - Q_{II} \cdot Z) \cdot l_{акт\text{-}вт} \cdot k_{3С1} \cdot 7650 = \\ &= (3,141596 \cdot (0,0679 + (0,00715 + 0,0006) \cdot \cos(0)) \cdot 0,00715 - 2,92 \cdot 10^{-5} \cdot 36) \cdot 0,0184 \cdot 0,95 \cdot 7650 = \\ &= 0,0912 \end{aligned}$$

3. Масса ярма якоря, кг

$$\begin{aligned} m_{ЯР_{ЯК}} &= \pi (D_{э\text{-}окр} + (2 \cdot h_{II} + h_{ЯР_{ЯК}} + \delta) \cdot \cos(\alpha)) \cdot h_{ЯР_{ЯК}} \cdot l_{акт\text{-}вт} \cdot k_{3С1} \cdot 7650 = \\ &= 3,141596 (0,0679 + (2 \cdot 0,00715 + 0,0025 + 0,0006) \cdot \cos(0)) \cdot 0,0025 \cdot 0,0184 \cdot 0,95 \cdot 7650 = \\ &= 0,0903 \end{aligned}$$

4. Масса магнитов, кг

$$m_{ПОЛ} = l_{магн} \cdot b_{магн} \cdot h_{магн} \cdot 2 \cdot \rho \cdot 7800 = 0,0224 \cdot 0,01924 \cdot 0,0082 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 7800 = 0,2204$$

5. Масса ярма индуктора, кг

$$\begin{aligned} m_{ЯР_{ИНД}} &= \pi (D_{э\text{-}окр} + (2 \cdot h_{магн} + h_{ЯР_{ИНД}} + \delta) \cdot \cos(\alpha)) \cdot h_{ЯР_{ИНД}} \cdot l_{магн} \cdot k_{3С2} \cdot 7650 = \\ &= 3,141596 \cdot (0,0679 + (2 \cdot 0,0082 + 0,00236 + 0,0006) \cdot \cos(0)) \cdot 0,00236 \cdot 0,0224 \cdot 0,95 \cdot 7650 = \\ &= 0,1055 \end{aligned}$$

6. Масса обмотки якоря, кг

$$m_{обм_{ЯК}} = w_{фвт} \cdot m \cdot q_{ЯК_{э\text{-}прое\text{-}ум}} \cdot l_{ВСР} \cdot 8900 \cdot 1,05 \cdot 10^{-6} = 96 \cdot 3 \cdot 0,5675 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1239 \cdot 8900 \cdot 1,05 \cdot 10^{-6} = 0,1892$$

7. Масса активных материалов, кг

$$m_{АКТ_МАТ} = m_{Z_{ЯК}} + m_{ЯР_{ЯК}} + m_{ПОЛ} + m_{ЯР_{ИНД}} + m_{обм_{ЯК}} = 0,0912 + 0,0903 + 0,2204 + 0,1055 + 0,1892 = 0,6966$$

8. Конструктивный коэффициент (коэффициент привеса) примем $k_M = 1,25$.

9. Полная масса машины $m_{ПОЛН} = m_{АКТ_МАТ} \cdot k_M = 0,6966 \cdot 1,25 = 0,8708$ кг.

Таким образом, анализ конструктивных особенности существующих и разработанного ветрогенератора для использования в системах аварийного электроснабжения транспортных средств показал, что разработанная компоновка и конструкция многофазного ветрогенератора позволяет обеспечить улучшение технико-эксплуатационных и массогабаритных показателей всей системы аварийного электроснабжения по сравнению с существующими аналогами. Разработанная конструкции ветрогенератора имеет улучшенные массогабаритные и технико-эксплуатационные показатели.

Список литературы:

1. 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.
2. Пат. 2685424 RU. 03.08.2018. Стабилизированная двухвходовая ветро-солнечная аксиально-радиальная электрическая машина-генератор / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 18.04.2019 г. Бюл № 11..

3. Пат. 2688925 RU. 22.03.2018. Стабилизированный вентильный аксиально-конический ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // Оubl. 23.05.2019 г.. Бюл № 15.
4. Ветросолнечная двухвходовая генераторная установка / Я.М. Кашин [и др.] // Сельский механизатор. – 2019. – № 7. – С. 32–34.
5. Конструкции перспективных аксиальных генераторов и генераторных установок для систем автономного электроснабжения объектов добычи нефти / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Российской академии естественных наук. Т. 5. – М. : изд-во Московский филиал ЦПУ «Радуга», 2017. – С. 100–105.
6. Методика расчета основных параметров синхронного генератора для гибридных энергетических комплексов и ее реализация / Я.М. Кашин [и др.] / Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки. – 2019. – Вып. 2(241). – С. 95–106. – URL : <http://vestnik.adygnet.ru>
7. Методика расчета синхронных электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов для ветро-солнечных генераторных установок / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки. – 2017. – Вып. 1(196). – С. 95–106. – URL : <http://vestnik.adygnet.ru>
8. Методика расчета магнитных цепей якоря и индуктора синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов для гибридных энергетических комплексов и ее реализация / Б.Х. Гайтов [и др.] // Электронный сетевой политематический научный журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 6. – С. 178–200. – URL : <https://elibrary.ru/contents.asp?id=40537087>

УДК 621.315.177

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЁДООБРАЗОВАНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Малеев
Андрей Владимирович

Сибирский федеральный университет,
Политехнический институт
старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика»
amaleev@sfu-kras.ru

Аннотация. В статье рассматривается система оптического мониторинга гололедообразования и определения стрелы провеса провода на основе новой методики обнаружения с использованием технологии «машинного зрения». Данная система мониторинга характеризуется высокой достоверностью обнаружения гололедообразования, определения вида отложений и их массы, монтируется на опоры без необходимости внесения изменений в конструкцию воздушных линий электропередачи. Разработанная система мониторинга позволяет установить её на любой тип опор и номинальное напряжение без отключения воздушной линии, при этом стоимость созданной системы значительно меньше аналогов. Разработанное программное обеспечение в автоматическом режиме определяет наличие гололедообразования и его интенсивность, что позволяет сократить объем передаваемой информации и разгрузить диспетчерский персонал от рутинной работы по расшифровке изображений. Для предварительной обработки исходного изображения, выделения провода и гололеда на нём, возможно применение вейвлет-преобразования, что позволяет упростить алгоритмы сегментации и распознавания.

Ключевые слова: линии электропередачи; интеллектуальные электрические сети; системы мониторинга гололедообразования; системы технического зрения; стрела провеса провода.

В настоящее время при строительстве и реконструкции линии электропередачи (ЛЭП), трассы которых проходят на местности со сложными метеорологическими условиями, оснащаются системами мониторинга, контролирующими их основные технические характеристики. В основном, это системы, использующие тензометрические датчики и погодные станции, оперативно информирующие диспетчерский персонал о неблагоприятных погодных условиях. Данные системы мониторинга подтвердили свою высокую эффективность только при совместном использовании. Установка вдоль трасс линий электропередачи постов мониторинга на основе погодных станций позволяет своевременно предупредить о неблагоприятных погодных условиях, но не позволяет, с высокой долей вероятности, оценить гололедную обстановку на проводах и грозозащитных тросах линии. Установка тензометрических датчиков тяжения проводов характеризуется высокой стоимостью и требует отключения действующих ЛЭП на время монтажа. Задача создания новых систем мониторинга, контролирующих основные технологические характеристики воздушных линий электропередачи, устанавливаемых на рассматриваемые электроустановки без нарушения технологического процесса, при этом, обладающих высокими качественными характеристиками, является актуальной [1].

Преимущества и недостатки, а также разновидности современных устройств для контроля гололедных отложений подробно рассмотрены в печатных изданиях и включают в себя следующие основные методы диагностики: гравитационный (тензометрический), локационный и инструментально-параметрический [2].

Однако, в настоящий момент времени, несмотря на большое многообразие методов и приборов мониторинга гололедообразования на воздушных линиях электропе-

редачи, контроль за гололедной обстановкой практически не автоматизирован и осуществляется посредством визуальных осмотров линий обслуживающим персоналом. Причиной тому является высокая стоимость существующих устройств и необходимость реконструкции линии, которая в большинстве случаев требует отключения потребителей электрической энергии на время проведения работ.

Авторами статьи проводятся опытные испытания автономной системы мониторинга гололедообразования, контроля стрелы провеса проводов и грозозащитного троса, на основе методики обнаружения с использованием технологии машинного зрения [3]. Исследуемая система мониторинга определяет основные технологические параметры воздушных линий и состоит из электронного блока; оптического сенсора; солнечной панели; GSM антенны и представлена на рисунке 1. Структурная схема рассматриваемой системы мониторинга гололедообразования представлена на рисунке 2. Электронный блок, для апробации разработанных алгоритмов и возможности оперативной их корректировки, допускает подключение внешних устройств отображения и ввода информации.

Система мониторинга устанавливается на опоре ВЛ, причём в процессе монтажа линия может находиться под напряжением. В непосредственной близости в горизонтальной плоскости от провода, с учетом допустимых изоляционных расстояний, размещают оптический сенсор. В качестве оптического сенсора используется видеокамера с возможностью работы в темное время суток в специальном, защищенном от внешних погодных условий, боксе. В поле зрения видеокамеры должен попадать контролируемый провод. Поскольку оптический сенсор располагается в непосредственной близости от провода, то на получаемое им изображение провода практически не влияют погодные условия [4].

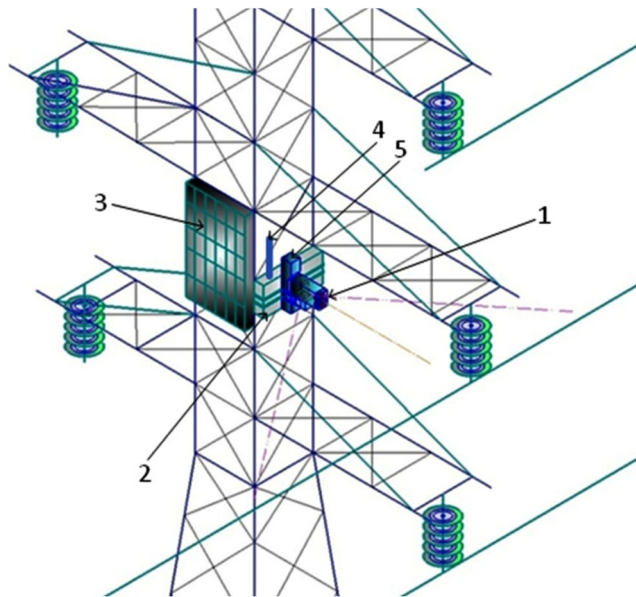


Рисунок 1 – Размещение разработанного устройства на опоре ВЛ:

1 – оптический сенсор; 2 – бокс с электронными компонентами; 3 – солнечная панель;
4 – передающая антенна; 5 – датчик температуры

Принцип работы устройства заключается в следующем: с определенной периодичностью, заданной диспетчерским пунктом, или текущей температурной обстановкой, система визуально фиксирует состояние провода, попадающего в поле зрения оптического сенсора на предмет наличия на нем гололеда. При наличии гололедообразования диаметр провода будет фактически отличаться от первоначального диаметра, являющегося эталонным для принятия решения. Система искусственного интеллекта, реализованная программно на микрокомпьютере, на фоне общего изображения выделяет провод, гирлянду изоляторов и фиксирующую провод арматуру, определяет средний диаметр провода; учитывая расстояние от оптического сенсора до провода, рассчитывает угол провеса (провиса) провода, стрелу провеса и массу гололедных отложений [5].

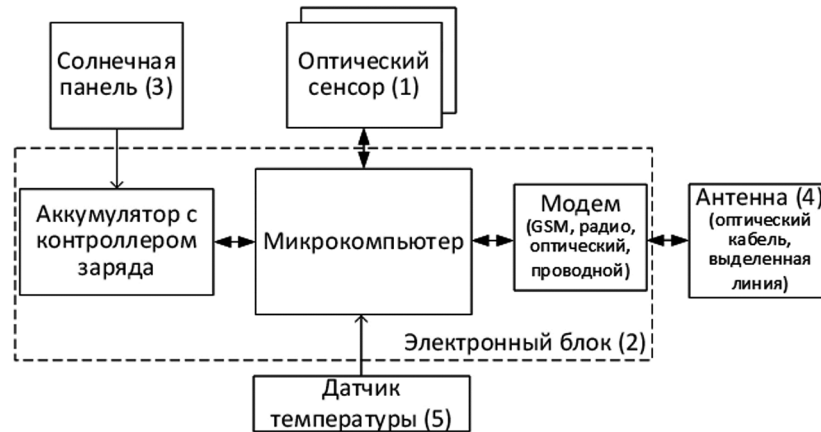


Рисунок 2 – Структурная схема автономного абонентского устройства мониторинга

Для автоматизации предварительной обработки исходного изображения, выделения провода и гололеда на нём, оценим возможность применения вейвлет-преобразования изображения провода и (или) гололеда, а также гирлянды изоляторов, полученного с типовой унифицированной промежуточной опоры 220 кВ без расщепления фазного провода (см. рис. 3) [6].

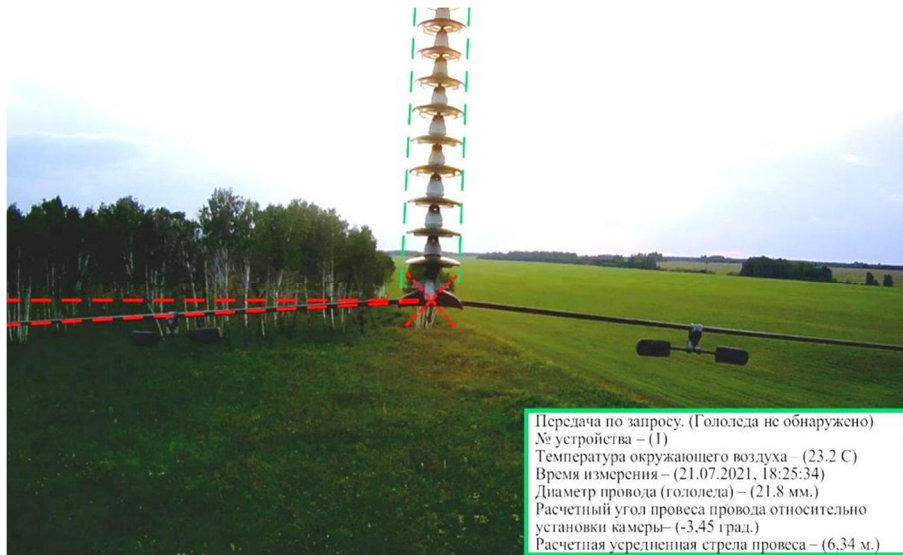


Рисунок 3 – Фотография анализируемого фрагмента провода линии 220 кВ с прикрепленной технологической информацией

Матрицы аппроксимирующих, горизонтальных, вертикальных и диагональных детализирующих коэффициентов разложения исходного изображения представлены на рисунке 4. Результат вейвлет-выделения контуров провода и поддерживающей арматуры (см. рисунок 5), помимо контура самого провода, содержит дополнительные элементы на заднем плане, что требует дальнейшей обработки изображения. Следует отметить, что выделение провода или гололеда полностью не является обязательным критерием, для принятия решения о гололедообразовании достаточно лишь частичного его выделения. Следующим этапом обработки изображения является выделение особых точек, которые представляют собой точки изображения, в которых происходит изменение информационной составляющей изображения [7]. Особые точки вейвлет-преобразования в дальнейшем используются для выделения контура провода на изображении. Характерное обозначение контура провода объясняется тем, что особые точки вейвлет-преобразования являются местами перепада яркости на изображении, которые как раз и наблюдаются на границе провода с окружающим фоном. Результаты программного выделения провода представлены на рисунке 3, в виде дополнительных линий, позволяющих диспетчеру визуально ориентироваться на текущем изображении.

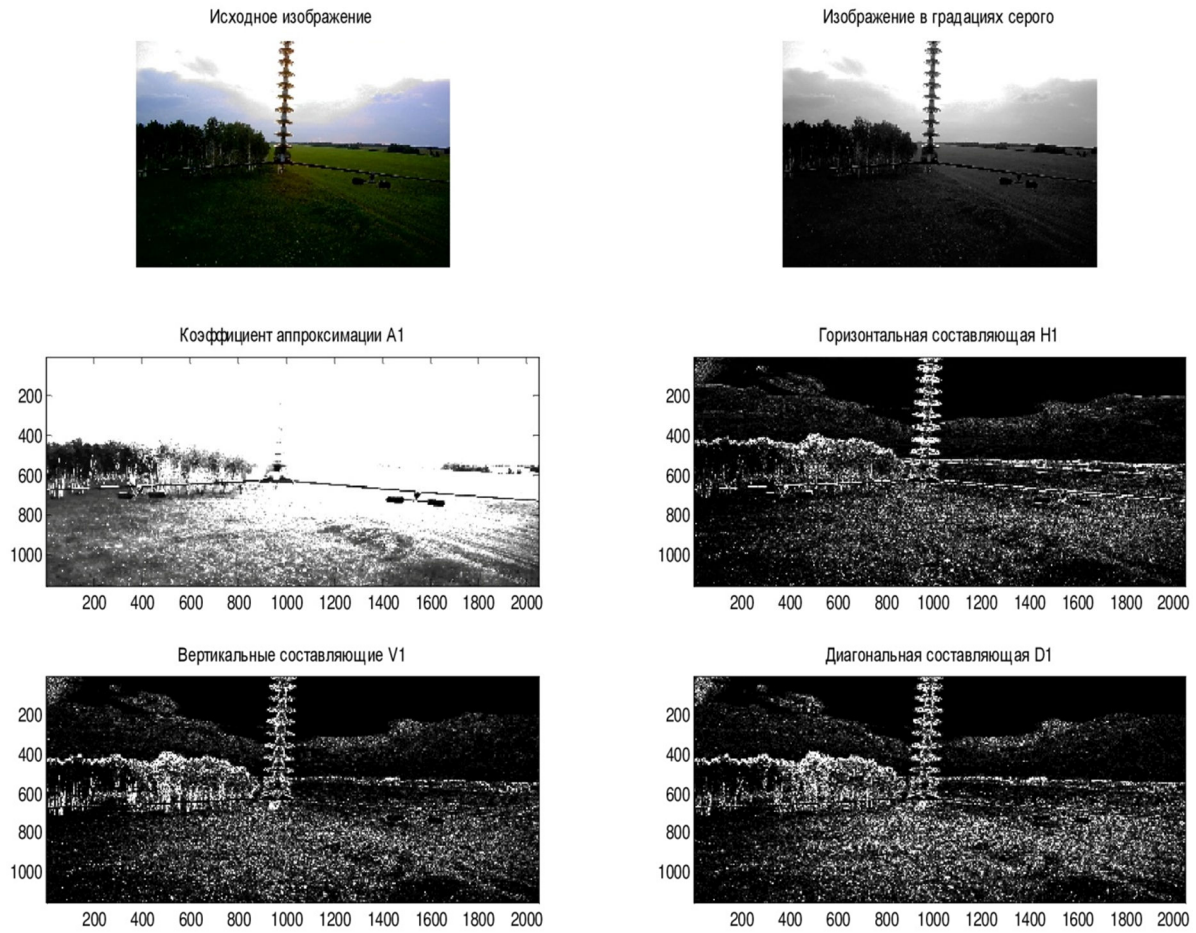


Рисунок 4 – Результаты вейвлет-преобразования исходного изображения провода и поддерживающей арматуры промежуточной опоры ЛЭП



Рисунок 5 – Результаты вейвлет-выделения контуров провода на исходном изображении

Проверка работоспособности, разработанных для системы мониторинга, предварительных алгоритмов обнаружения провода, гололеда и поддерживающей арматуры, с применением вейвлет-преобразования, была реализована на большом количестве фотографий, полученных как с помощью самой системы, так и других фотографий, которые предоставили специалисты-энергетики при обследовании линий электропередачи. При обнаружении системой нарастания интенсивности гололедообразования или увеличения пограничной стрелы провеса провода диспетчеру сетевой компании отправляется фотография анализируемого фрагмента провода с нанесенной на нее технологической информацией. Диспетчер может также получить текущие данные анализируемого фрагмента линии электропередачи, отправив соответствующий запрос системе. В качестве технологической информации к фотографии прикрепляется дата и время измерения, диаметр провода или гололеда, расчетное значение массы и стрелы провеса. На фотографию также наносится дополнительная информация, позволяющая визуально убедиться в справедливости принятия решения системой мониторинга. Так, например, в виде прямых линий на фотографии обозначается гирлянда изоляторов, фиксирующий или поддерживающий зажим, а также горизонтальный уро-

вень установки провода и трасса прохождения провода, относительно поддерживающего зажима.

Создание системы раннего обнаружения голодных отложений на проводах ВЛ и стрелы провеса провода, с применением машинного зрения, является перспективной идеей. Система позволяет с высокой точностью определить наличие или отсутствие гололедных образований на проводах ВЛ, а разработанный алгоритм, принимающий решение о наличии гололедообразования, значительно сокращает объем передаваемой информации и разгружает диспетчерский персонал от расшифровки изображений.

Применение вейвлет-преобразования, для предварительной обработки исходного изображения, позволяет упростить алгоритмы сегментации и распознавания провода и гололеда на нём.

Для типовых унифицированных опор расстояние до провода составляет от 1 м (для ВЛ 35 кВ) до 6 м (для ВЛ 500 кВ). Учитывая данные технологические расстояния на процесс обнаружения гололедообразования, практически не влияют погодные условия, такие как интенсивный снегопад, «ледяной» дождь, туман и т.п. При формировании изображения оптическом сенсором, в темное время суток, провод «подсвечивается».

Созданная система мониторинга гололедообразования, обладает высокими качественными и количественными характеристиками раннего обнаружения гололедообразования, не требует больших затрат на её реализацию и отключения линии электропередачи на время монтажа системы, что является решением важной практической задачи, позволяющим повысить надежность и экономичность электроснабжения, а также уменьшить вероятность аварий в электрических сетях.

Список литературы:

1. Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью: структура, методические принципы, система управления [Электронный ресурс]. – URL : <https://docplayer.ru/30547183-Intellectualnaya-elektroenergeticheskaya-sistema-s-aktivno-adaptivnoy-setyustruktura-metodicheskie-principy-sistema-upravleniya.html>
2. Минуллин Р.Г. Локационный мониторинг гололёда и повреждений на линиях электропередачи: монография. – Казань : КГЭУ, 2022. – 439 с.
3. Пантелеев В.И., Малеев А.В. Система мониторинга интенсивности гололёдообразования на проводах воздушной линии электропередачи // Омский научный вестник. – 2020. – № 6 (174). – С. 74–80.
4. Panteleev V.I., Maleev A.V. Monitoring of ice formation of overhead power line wires // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1889. II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021).
5. Пантелеев В.И., Малеев А.В. Применение программного комплекса MATLAB для автоматизации расчетов стрелы провеса проводов воздушных линий электропередачи // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. ст. науч.-техн. конф. / Нижегород. гос. техн.ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2021. – 435 с.
6. WASP (Wavelet Analysis of Secondary Particles distributions) package. Long Write Up and User's Guide. // M. Altaisky [et al.] // JINR Communication. – Dubna, 2001.
7. Морев К.И., Боженюк А.В. Сопоставление изображений по особым точкам различных категорий // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2020. – С. 192–201.

УДК 621.313-57+621.316.925

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6(10) КВ

Манаев Э.Е.

Институт нефти и газа им. М.С. Гуцериева,
Удмуртский государственный университет
магистрант
manaev_93@bk.ru

Бартенов О.А.

Институт нефти и газа им. М.С. Гуцериева,
Удмуртский государственный университет
канд. физ-мат. наук, профессор кафедры теплоэнергетики
boa2@udsu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке системы по выявлению места повреждения в распределительных сетях ВЛ 6(10) кВ. Данная система позволит снизить недоборы нефти за счет сокращения времени поиска и фиксации повреждений в распределительных сетях ВЛ 6(10) кВ.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, распределительные сети, центрально диспетчерская служба.

В настоящее время нет надежной, быстродействующей и достоверной системы оперативного определения места повреждения изоляции в распределительных сетях 6(10) кВ [1–2].

Главной задачей персонала электрических сетей является содержание оборудования в состоянии эксплуатационной готовности. В процессе эксплуатации может происходить повреждение проводов, а также загрязнение и пробой изоляторов. При этом возникают междуфазные короткие замыкания, а также замыкания на землю. Кроме того, за счет старения проводов при нагревании протекающим током может происходить критическое провисание и касание проводов, как земли, так и объектов рельефа. Большую часть повреждений воздушных линий составляют короткие замыкания и обрывы проводов. При этом определение места повреждения и восстановление поврежденных участков электролиний сети являются наиболее сложными и длительными операциями.

Предлагаемая система, позволит вести постоянный контроль изоляции системы электроснабжения и в случае появления нарушения изоляции или междуфазного короткого замыкания, системой фиксируется точное место повреждения на модуле регистрации, установленном на подстанции и при необходимости по GSM каналу информация передается в ЦДС (номер фидера, поврежденный участок и вид повреждения).

Исходя из выше сказанного целью проекта является снижение недобора нефти за счет сокращения времени поиска и фиксации повреждений в распределительных сетях ВЛ 6(10) кВ.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Создание автономной системы распределительных сетей 6–10 кВ.
- Разработка программного обеспечения для регистрации и хранения данных аварийных событий.

- Передача данных о месте и виде повреждения по каналу связи диспетчеру ЦДС.

Высоковольтные воздушные линии электропередачи являются наиболее аварийным элементом в составе единой технологической цепи снабжения потребителей электроэнергией. Более половины всех перерывов в энергоснабжении обусловлено проблемами воздушных ЛЭП.

Значительная часть причин выхода ЛЭП из работы являются форс-мажорными, и не могут быть предупреждены средствами оперативной диагностики. Это различные непредсказуемые атмосферные воздействия, природные и геологические особенности трассы ЛЭП, влияние аномальных режимов работы линии. В то же время не менее половины всех случаев выхода ЛЭП из эксплуатации может быть переведены из категории непредсказуемых в категорию предсказуемых, если для контроля состояния линий использовать системы мониторинга [3–4].

Даная разработанная электронная система, состоит из:

- Автономных датчиков устанавливаемых на провода ВЛ, которые имеют основное назначение фиксация события. Датчик автономен и имеет светодиод, который сигнализирует готовность датчика к работе и находится в режиме ожидания аварийного события (монтируются на одной из фаз воздушной линии);
 - Блока формирования поискового сигнала и регистрации информации о месте нарушение изоляции, который монтируется в ячейке ТН подстанции.
 - Программного обеспечения устанавливаемого на рабочем месте диспетчера.
- Передача данных с подстанции производится с помощью GSM модуля.

Работа системы (рис. 1) заключается в следующем: При возникновении повреждений на ВЛ происходит селективный пуск датчиков установленных на фазе защищаемой линии. Датчики запускаются последовательно, но первым сработает датчик расположенный ближе всего к месту повреждения, затем через выдержку времени (200 мс) запустятся следующие датчики. Полученный сигнал от датчиков преобразуется в блоке приёма и передаче данных, который передаёт собранную информацию с помощью SMS – сообщения на рабочее место диспетчера. С помощью разработанного ПО полученные данные преобразуются в удобный для восприятия человеком вид, с указанием конкретного участка и заносятся в базу данных.

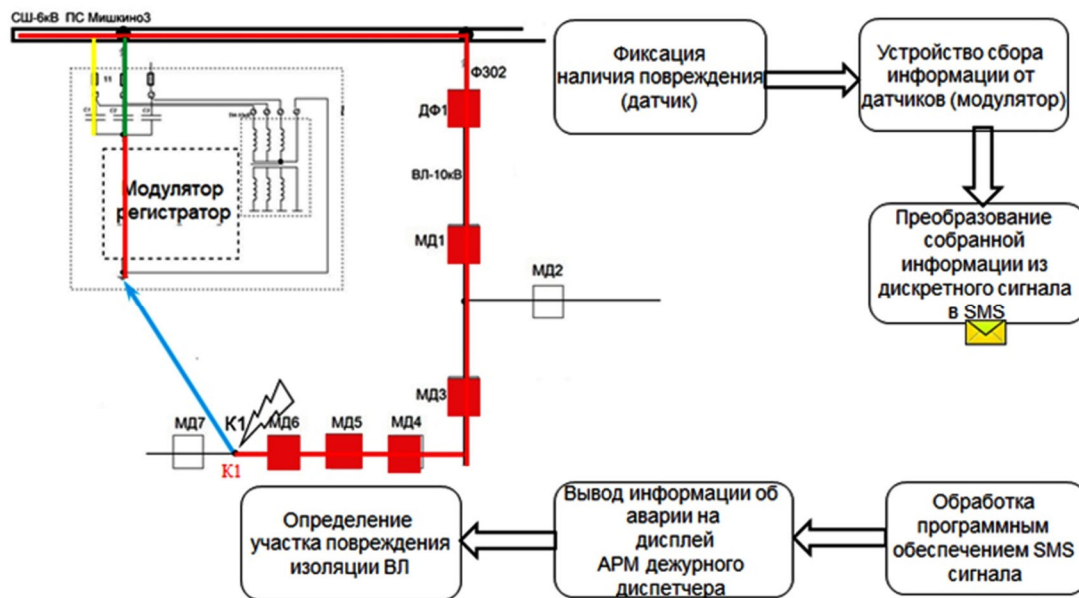


Рисунок 1 – Схема работы системы

В ходе испытаний разработанной системы на ПС «Мишкино 3» не было замечено помех в работе, система точно определяла конкретный участок с поврежденной изоляцией.

На оснащение всех подстанций ООО «УЭН» данной системой контроля нарушений линий электроснабжения необходимо капложений на сумму порядка 6,5 млн руб. Экономический эффект от внедрения системы составит около 3,5 млн рублей в год и срок окупаемости составит всего 2,5 года. Важно, что разработанная система позволит сократить время поиска повреждений в распределительных сетях ВЛ 6(10) кВ на 50 % обеспечивая тем самым непрерывность электроснабжения и повышение объема добычи нефти.

Список литературы:

1. Эффективные инженерные решения по повышению пропускной способности ВЛ на основе применения системы мониторинга тока и температуры проводов, математического моделирования поведения элементов линий в различных режимах эксплуатации // Материалы презентации МРСК Ходинг.
2. Костиков И. Система мониторинга САТ-1 – повышение пропускной способности и надежности в ЛЭП // Энергетика. – 2011. – № 3 (38).
3. Жиленков Н. Новые технологии беспроводной передачи данных // СТА. – 2003. – № 4.
4. Самарин А.В., Рыгалин Д.Б., Шкляев А.А. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП // Естественные и технические науки. – 2012. – № 1, 2.

УДК 621.317.3:621.311.1.027.3

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

**Мытников
Алексей
Владимирович**

Томский политехнический университет
кандидат технических наук, доцент Инженерной школы
mytnikov66@mail.ru

**Мамашаев
Бакытбек
Кашкардинович**

ПАО «Газпромавтоматизация»
ведущий инженер по высоковольтным испытаниям
bakytmk@mail.ru

Аннотация. Создание системы измерения тока высокого напряжения не уступающих по своим характеристикам по точности и надежности оптическим трансформаторам тока, в тоже время, соответствующие по надежности традиционным электромагнитным трансформаторам тока и при этом обладающие гораздо более эффективными массо-габаритными и экономическими параметрами является актуальной задачей. Приводятся результаты исследования пути решения научно-технической задачи корректного и эффективного измерения тока высокого напряжения промышленной частоты.

Ключевые слова: трансформатор тока, высоковольтные измерения, техника высоких напряжений, высоковольтная изоляция, насыщение магнитопровода, точность измерений.

В \электроэнергетике согласно одному из основных руководящих документов, трансформаторы тока (ТТ) предназначены для измерения тока, питания устройств релейной защиты и изолирование измерительных приборов и обслуживающего персонала от высокого напряжения [1].

Трансформаторы тока должны обеспечивать:

- 1) масштабное преобразование переменного тока различной силы в переменный вторичный ток приемлемой силы для питания устройств релейной защиты;
- 2) изолирование вторичных цепей и реле, к которым имеет доступ обслуживающий персонал, от цепей высокого напряжения.

Для релейной защиты и автоматики допустимо применение ТТ с меньшей точностью, а для коммерческих измерений – точность ТТ должна быть на порядок выше.

Традиционные электромагнитные трансформаторы тока с магнитопроводом, обладают двумя существенными недостатками:

1. Насыщение магнитопровода в области больших токов.
2. Недостаточная чувствительность в области малых токов (как результат проявления явления гистерезиса).

Кроме того, требование изолирования вторичных цепей от первичного напряжения приводит к тому, что трансформаторы тока на классы напряжения 220 кВ и более имеют значительные габариты и массу до нескольких тонн. Указанный недостаток становится критическим при продвижении в область сверхвысоких и особенно ультравысоких напряжений, что является современной и перспективной тенденцией электрических сетей. При этом габариты изоляции ТТ оказывают влияние на точность измерения, которая имеет обратную зависимость по мере возрастания напряжения электроэнергетической системы [2].

Новыми технологиями измерения токов высокого напряжения промышленной частоты основаны на использовании эффекта Фарадея и представляют собой оптические трансформаторы тока (ОТТ), которые по сравнению с ТТ с магнитным сердечником имеют расширенный динамический диапазон и точность измерения вследствие отсутствия явления гистерезиса и магнитного насыщения [3]. При ряде достоинств, потенциал технологии ОТТ снижает их основной недостаток – высокая стоимость по сравнению с традиционными ТТ, которая растет при повышении класса напряжения сети. Мы предлагаем реализовать измерение тока с точностью не хуже ОТТ при стоимости на уровне традиционных ТТ

за счет следующего подхода: датчик тока располагается на проводе под потенциалом сети, сигнал от датчика тока передается по изолирующему каналу связи во вторичные цепи, находящиеся под потенциалом земли (рис. 1).



Рисунок 1 – Структурная схема реализации системы измерения тока высокого напряжения

Датчик тока располагается на проводе под потенциалом сети. Аналоговый сигнал от датчика тока обрабатывается и преобразуется в цифровую форму и поступает в блок передачи. Блок передачи формирует сигнал и передает его по оптическому каналу связи или любому аналогичному каналу с высоковольтного потенциала на землю в блок приема. Блок приема формирует сигнал для измерительной аппаратуры (например, счетчиков электрической энергии) и устройств релейной защиты и автоматики.

Для питания всех элементов, находящихся под потенциалом высоковольтного провода предусмотрен автономный источник питания.

Такой подход позволяет:

1. Обеспечить точность на уровне ОТТ за счет применения воздушного трансформатора специальной конструкции, в основе которой лежит технология измерения импульсных сигналов.

2. Существенно снизить габариты и массу измерительного устройства в целом.

Для реализации опытно-конструкторской работы предполагается выполнение:

1. Разработка опытного образца датчика тока с требуемыми метрологическими параметрами.

2. Разработка устройства согласования аналогового сигнала с датчика ток с изолирующим каналом передачи.

3. Разработка автономного источника питания, находящегося под потенциалом провода сети.

4. Разработка блока приема и согласования информационного сигнала с цепями измерения и РЗА.

Выполненные эксперименты и анализ их результатов, подтверждает принципиальную возможность реализации представленной системы измерения тока на высоком напряжении. Учитывая проблемы традиционных технологий измерения тока высокого напряжения, предлагаемая нами система является инновационной и перспективной в электрических сетях высокого напряжения.

Список литературы:

1. РД 153-34.0-35.301-2002. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты и измерения.

2. Афанасьев В.В., Адоньев Н.М., Кибель В.М. Трансформаторы тока. – Л. : Энергия, 1989. – 416 с.

3. Гуревич В.И. Оптические трансформаторы тока: нужно быть реалистами // Электрические сети и системы. – 2010. – № 4. – С. 9–11.

УДК 621.31.004.18

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ БЛОКА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО УСТРОЙСТВА С КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКОЙ

**Печенкин
Андрей Геннадьевич**

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

**Ороладе
Теслим Боларинва**

Кубанский государственный технологический университет
студент

**Ония
Виктор Чинело**

Кубанский государственный технологический университет
студент

Аннотация. В статье рассматривается разработка компьютерной модели блока измерений выходных параметров трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой (ТУКО). Приведены основные формулы для оценки качества формирования шестифазной симметричной системы напряжений, выходного выпрямленного напряжения и их реализация в среде Simulink программного комплекса Matlab.

Ключевые слова: блок измерений, модель, трансформаторное устройство, короткозамкнутая обмотка, Matlab, Simulink.

Одним из возможных направлений совершенствования и обеспечения надежной работы электрических сетей в аварийных и переходных режимах является применение устройств релейной защиты с измерительными органами на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем [1], однофазно-многофазных преобразователей [2] и трансформаторных устройств с короткозамкнутой обмоткой (ТУКО) и многофазным выходом [3, 4].

Целью работы является разработка компьютерных моделей измерительных блоков для оценки параметров шестифазной системы выходных напряжений и выпрямленного напряжения при моделировании ТУКО [5, 6].

Оценка несинусоидальности напряжения в каждой фазе проводилась по следующим показателям – коэффициент амплитуды K_a , коэффициент формы K_ϕ и коэффициент искажения синусоидальности кривой, K_u [7].

Коэффициент амплитуды напряжения K_a определяется по формуле:

$$K_a = \frac{U_m}{U} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где U_m – амплитудное значение напряжения, В; U – действующее значение напряжения основной частоты, В.

Коэффициент формы напряжения K_ϕ определяется по формуле

$$K_\phi = \frac{U}{U_{cp}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где U – действующее значение напряжения, В; U_{cp} – среднее за полпериода значение напряжения, В.

Коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения K_u определяется по формуле:

$$K_u = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}{U_{(1)}^2}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где $U_{(n)}$ – действующее значение n -ой гармонической составляющей напряжения, В;
 n – порядок гармонической составляющей напряжения; N – порядок последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения; $U_{(1)}$ – действующее значение напряжения основной частоты, В.

Схема блока Calculation_Ku для расчёта коэффициента пульсаций K_u по формуле (3) в модели ТУКО в среде Simulink программы Matlab с ограничением числа гармоник $N = 15$ приведена на рисунке 1.

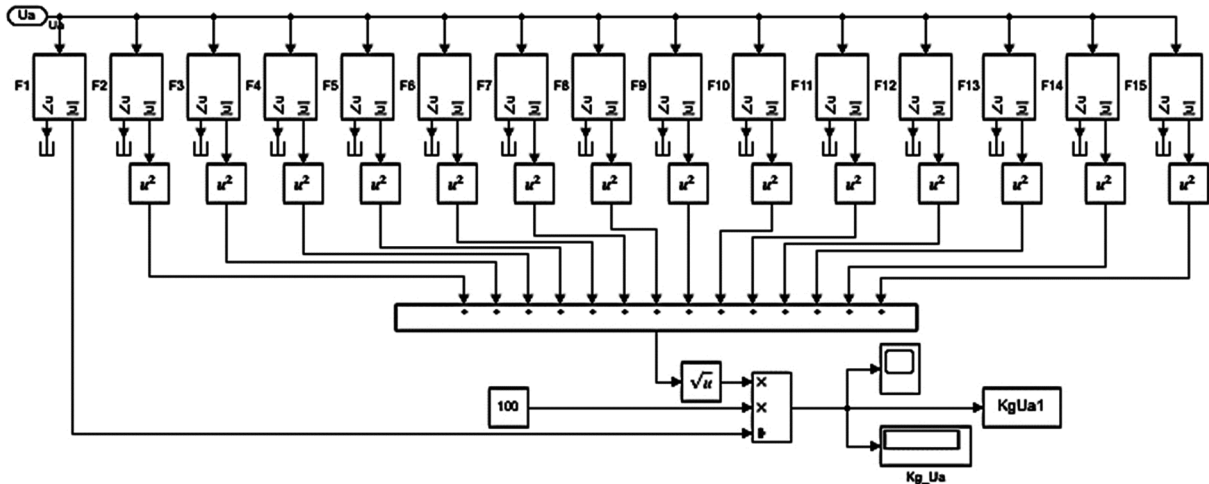


Рисунок 1 – Схема блока Calculation_Ku для расчёта пульсаций выпрямленного напряжения в модели ТУКО

Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$ определяется по формуле:

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где $U_{(n)}$ – действующее значение n -ой гармонической составляющей напряжения, В;
 $U_{(1)}$ – действующее значение напряжения основной частоты, В.

Шестифазная система выходных напряжений ТУКО сформирована из двух трехфазных систем. Несимметрия напряжений трехфазных систем выходных напряжений характеризуется коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} , % и коэффициентом несимметрии по нулевой последовательности K_{0U} , %.

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} , % определяется по формуле:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где $U_{2(1)}$ – действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В; $U_{1(1)}$ – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} , % определяется по формуле:

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{н.ф.}} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где $U_{0(1)}$ – действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В; $U_{1(1)}$ – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Формирование выходного напряжения ТУКО осуществлялось путем последовательного соединения двух выпрямленных трехфазных напряжений. В качестве выпря-

мителя использовалась трехфазная мостовая схема выпрямления (схема Ларионова). Для оценки качества полученного выпрямленного напряжения U_{vd} определялся коэффициент пульсаций равный отношению максимального значения пульсации к постоянной составляющей напряжения K_p [8]. Уравнения для расчёта коэффициента пульсации примет вид:

$$K_p = \frac{U_{vdm\sim}}{U_{vdo}} = \frac{\Delta U_{vd}}{U_{vdo}} = \frac{U_{vdmax} - U_{vdmin}}{2 \cdot U_{vdo}} = \frac{U_{vdmax} - U_{vdmin}}{U_{vdmax} + U_{vdmin}}, \quad (7)$$

где K_p – коэффициент пульсаций напряжения; $U_{vdm\sim}$ – пульсирующая составляющая напряжения; U_{vdo} – постоянная составляющая напряжения; U_{vdmax} – максимальная составляющая пульсации напряжения; U_{vdmin} – минимальная составляющая пульсации напряжения.

Схема блока Calculation_Kp для расчёта коэффициента пульсаций K_p в модели ТУКО в среде Simulink программы Matlab приведена на рисунке 2.

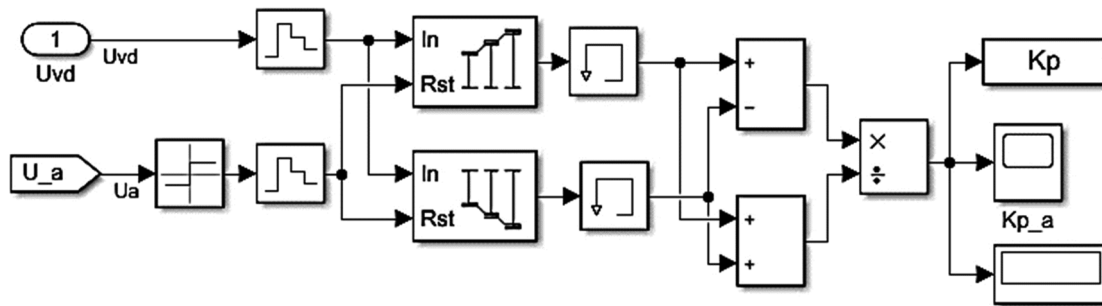


Рисунок 2 – Схема блока Calculation_Kp для расчёта пульсаций выпрямленного напряжения в модели ТУКО

В программном комплексе MatLab среде *Simulink* построены измерительные блоки Calculation_Ku, Calculation_Kp. Основным элементом которых является подсистема *Subsystem* в которой с помощью блоков для реализации математических операций *Math Operations* реализованы формулы (1–7). Для вывода рассчитанных коэффициентов применяется блок цифрового дисплея «Display», осциллограф *Scope*, для записи в рабочее пространство MatLab блок «To Workspace» из раздела приемников и измерителей сигналов *Sinks*. Источником информационных сигналов для измерительных блоков Calculation_Ku, Calculation_Kp служит компьютерная модель ТУКО с шестифазной системой выходных напряжений [9, 10] собранная на элементах библиотеки *SimPowerSystems*.

Вывод: Предложенные компьютерные модели блоков измерений выходных параметров позволяет оценить качество шестифазной симметричной системы выходных напряжений и выпрямленного напряжения, что необходимо для дальнейшего исследования работы реле тока с измерительным органом на ТУКО при установившихся и переходных режимах работы электрической сети.

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. 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.
3. 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.
4. 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.

5. Математическое моделирование трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой для преобразования однофазного тока в шестифазное напряжение / Б.А. Коробейников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2023. – Т. 66. – № 1. – С. 95–100.

6. Печенкин А.Г., Ольшанская И.В., Обухов А.В. Матричная модель трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой // Технические и технологические системы : материалы тринадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2022. – С. 92–95.

7. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст.

8. Борисов П.А., Томасов В.С. Расчет и моделирование выпрямителей. Учебное пособие по курсу «Элементы систем автоматики» (Часть I). – СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2009. – 169 с.

9. Коробейников Б.А., Печенкин А.Г., Обухов А.В. Компьютерная модель трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой в системе Simulink – Simscape // Технические и технологические системы : материалы тринадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2022. – С. 74–77.

10. 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 : Издательство «Новация» – Юг, 2022. – С. 150–153.

УДК 621.31.004.18

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА ТРАНСФОРМАТОРНОГО УСТРОЙСТВА С КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКОЙ НА ЕГО ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

**Печенкин
Андрей Геннадьевич**

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

**Ороладе
Теслим Боларинва**

Кубанский государственный технологический университет
студент

**Ония
Виктор Чинело**

Кубанский государственный технологический университет
студент

Аннотация. В статье выполнена оценка влияния насыщения сердечника магнитопровода на выходное напряжение трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой. Описан подход к созданию модели нелинейного блока трансформаторного устройства с магнитопроводом из материала ГМ440 В.

Ключевые слова: измерительный орган, трансформаторное устройство, короткозамкнутая обмотка, насыщение, магнитопровод.

При работе линий электропередач, трансформаторов и другого электрооборудования систем электроснабжения могут возникать различные аварийные режимы, при которых возникают значительные по величине токи короткого замыкания. Для защиты от них предлагается использовать релейную защиту с измерительным органом на основе трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой (ТУКО) [1, 2, 3].

В статье рассматривается влияние насыщения сердечника магнитопровода измерительного органа реле тока на основе ТУКО на его выходное напряжение, при протекании в системе электроснабжения токов короткого замыкания [4, 5].

Исследование поставленной задачи выполнялось с применением пакета схемотехнического моделирования MATLAB Simulink на модели ТУКО [6, 7]. Для учета насыщения сердечников магнитопроводов ТУКО компьютерная модель была дополнена нелинейным блоком, учитывающим основную кривую намагничивания (ОКН) в виде квадратического параболического однофакторного регрессионного уравнения:

$$B(h) = b_0 + b_1H + b_2H^2, \quad (1)$$

где b_0, b_1 и b_2 – выборочные коэффициенты регрессии; H – напряженность магнитного поля (А/м); B – магнитная индукция (Тл).

Сердечник магнитопровода ТУКО выполнен из аморфного сплава ГМ440 В, с магнитной проницаемостью $\mu = 11000$ [8]. Математическое описание ОКН в виде уравнения регрессии с доверительной вероятностью $P_D = 0,95$ было получено на основании результатов проведенного эксперимента [9]. Оценка коэффициентов регрессии выполнена методом наименьших квадратов. Уравнение (1) полиномиальной регрессионной модели основной кривой намагничивания для магнитопровода из аморфного материала ГМ 440В примет вид:

$$B = -0,007641 + 0,002504 \cdot H - 0,000001 \cdot H^2. \quad (2)$$

На основании уравнения (2) составлена схема нелинейного блока ТУКО. Схема нелинейного блока $B = f(H)$ в модели ТУКО в среде Simulink программы Matlab приведена на рисунке 1.

Для достижения различной степени насыщения сердечников магнитопровода ТУКО на его первичную обмотку подается ток I_1 кратный номинальному току $I_{1ном}$. Результаты расчетов погрешности выходного напряжения при насыщении приведены в таблице 1.

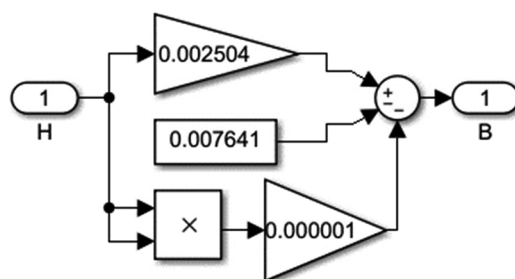


Рисунок 1 – Схема нелинейного блока $V=f(H)$ в модели ТУКО

Таблица 1 – Результаты относительной погрешности выходного напряжения U_{dc} , В при различной кратности тока

Ki	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$\delta u_d, \%$	1,02	0,34	2,67	6,39	10,07	12,01	13,70	16,80	31,26	63,38	66,73

Вывод: Полученная нелинейная модель ТУКО позволяет проводить экспериментальные исследования электромагнитных процессов с учетом насыщения сердечников при аварийном режиме работы электрической сети.

При определении напряжения уставки реле тока с измерительным органом на основе ТУКО необходимо учитывать погрешность выходного напряжения при насыщении сердечников магнитопроводов.

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. 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.
3. 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 – April.
4. 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.
5. Математическое моделирование трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой для преобразования однофазного тока в шестифазное напряжение / Б.А. Коробейников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2023. – Т. 66. – № 1. – С. 95–100.
6. Печенкин А.Г., Ольшанская И.В., Обухов А.В. Матричная модель трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой // Технические и технологические системы : материалы тринадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2022. – С. 92–95.
7. Коробейников Б.А., Печенкин А.Г., Обухов А.В. Компьютерная модель трансформаторного устройства с короткозамкнутой обмоткой в системе Simulink – Simscape // Технические и технологические системы : материалы тринадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2022. – С. 74–77.
8. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2002. – 384 с.
9. Полиномиальная регрессионная модель основной кривой намагничивания для аморфных материалов многофазных преобразователей тока и напряжения / Б.А. Коробейников [и др.] // В сборнике: Наука. Новое поколение. Успех. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – С. 91–96.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ДЕФЕКТАМИ

**Рыжиков
Игорь Николаевич**

**Алсаев
Руслан Александрович**

**Иркутский национальный исследовательский
технический университет**
кандидат технических наук, доцент
rin111@list.ru

**Иркутский национальный исследовательский
технический университет**
магистрант

Аннотация. Авторами проведено компьютерное моделирование НДС сварных конструкций с дефектами. Построены трехмерные компьютерные модели сварных соединений с различными дефектами. Выполнен анализ статической прочности моделей. Выявлено влияние различных дефектов на напряженное состояние конструкций. Рассчитаны теоретические коэффициенты концентрации напряжений для всех моделей с дефектами. Проведен анализ влияния угла наклона углового лобового шва на величину концентрации напряжений.

Ключевые слова: сварные конструкции, дефекты, метод конечных элементов, коэффициент концентрации напряжений.

Сварные соединения часто содержат разного рода дефекты. В отличие от дефектов, приобретенных во время эксплуатации (например, коррозионные или износ) сварочные дефекты практически всегда возникают при выполнении соединения. При эксплуатации конструкции наличие дефектов в соединении может стать причиной аварии. В этой связи исследования влияния сварочных дефектов на прочность сварных конструкций является актуальной задачей.

Многие дефекты сварных швов являются концентраторами напряжений. Концентрацией напряжений в сварных конструкциях называется местное увеличение напряжений в местах интенсивного изменения геометрии конструкции (угловые швы, валики швов) или в районе дефекта (трещины, поры, прожоги). В случае изготовления конструкций из чувствительных к концентрации напряжений материалов, каковыми являются материалы с ярко выраженными хрупкими свойствами, наличие подобных концентраторов с высокой долей вероятности приведет к разрушению.

В то же время иногда необходимо принять решение: продолжать ли работу конструкции с дефектом либо прекратить ее эксплуатацию. Это решение является непростым, т. к., с одной стороны конструкция содержит дефект с недопустимыми по нормам размерами, с другой – эта конструкция отработала безотказно большой промежуток времени, а ее ремонт очень дорогой и трудоемкий. В этом случае необходимо оценить реальную прочность сварной конструкции. Наиболее подходящим для этого является компьютерное моделирование на основе метода конечных элементов. Известно большое количество работ в области анализа напряженного состояния конструкций методом конечных элементов [1–3].

Целью данной работы является оценка влияния различных дефектов сварных швов, на прочность конструкции. Количественно степень влияния дефекта можно оценить с помощью теоретического коэффициента концентрации напряжений

$$\alpha_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_n}, \quad (1)$$

где σ – максимальное напряжение в области концентратора; σ_n – напряжение, вычисленное в предположении отсутствия концентратора.

Построение моделей сварных соединений с дефектами проводилось с использованием программного комплекса инженерного анализа Autodesk Inventor.

Точность расчетов методом конечных элементов очень сильно зависит от степени густоты сетки. Как правило, с уменьшением размеров конечных элементов точность расчета растет. Для оценки степени густоты сетки, требуемой для получения результата с приемлемой точностью, выполняется анализ сходимости численного решения, т.е. сравнение численного решения с точным решением.

Для тестирования на предмет сходимости численного решения была подготовлена модель прямоугольной стальной пластины с размерами 300 x 150 x 2 мм с концентратором в виде круглого отверстия диаметром 0,5 мм, расположенного в центре пластины.

Относительно малый диаметр отверстия по сравнению с размерами пластины выбран с целью исключить влияние краев пластины. Материал пластины испытывает растягивающее напряжение 100 МПа.

Для проверки сходимости были подготовлены 4 конечноэлементные модели с разным количеством узлов: 1347, 1932, 5286 и 7414 узлов. На рисунке 12 представлены результаты расчета модели с самой мелкой сеткой.

На рисунке 2 представлен график сходимости результатов расчета к точному решению по формуле

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{2} \left[2 + \frac{d^2}{4y^2} + \frac{3}{16} \frac{d^4}{y^4} \right], \quad (2)$$

для значения $y = d/2$, т.е. для точек на краю отверстия. При этом $\sigma = 3\sigma_0$ и теоретический коэффициент концентрации $\alpha_\sigma = 3$. Следовательно, максимальное напряжение при нагрузке 100 МПа должно составлять 300 МПа.

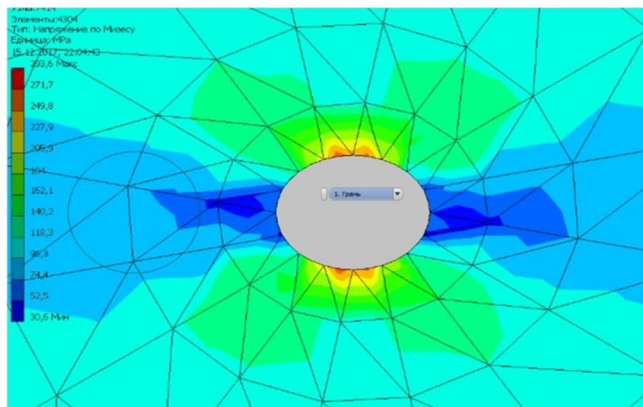


Рисунок 1 – Результаты расчета наиболее точной модели с числом узлов 7414

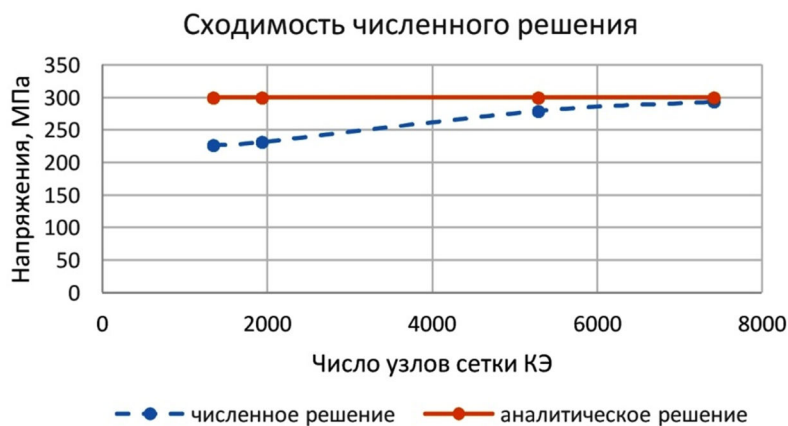


Рисунок 2 – Сходимость результатов численного решения

Как видно из графика, наиболее точной является модель с самой мелкой сеткой, т.е. с числом узлов, равным 7414. Максимальное напряжение при этом составило 293,6 МПа, погрешность составила 97,9 %, что приемлемо. Соответственно, при расчетах конструкций с концентраторами напряжений необходимо придерживаться приблизительно тех же параметров конечноэлементных моделей для достижения приемлемой точности расчетов.

С учетом выработанных рекомендаций по густоте сетки конечных элементов, были подготовлены и конечноэлементные модели сварных соединений, содержащих такие дефекты, как подрезы, непровар и прожог (рис. 3).

Анализ результатов статического расчета прочности позволил определить коэффициенты концентрации напряжений соединений с данными дефектами. Наибольшая концентрация напряжений в рассмотренных конструкциях наблюдается в случае непровара (см. табл. 1).

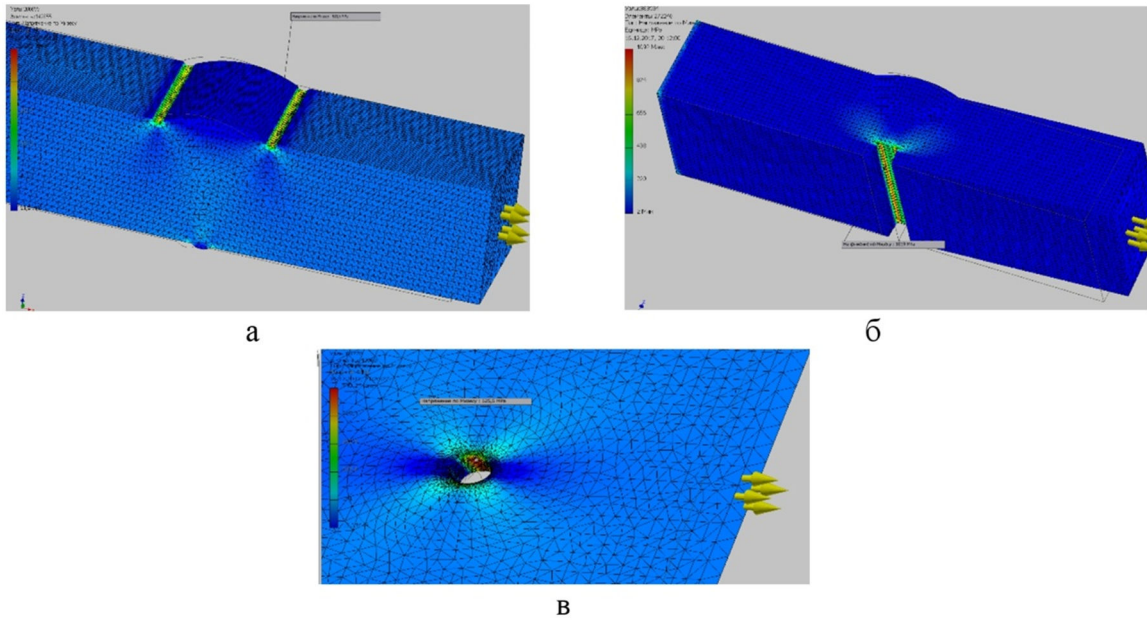


Рисунок 3 – Результаты расчетов напряжений в конструкциях с концентраторами:
а – подрезы; б – непровар; в – прожог

Таблица 1 – Влияние вида дефекта на концентрацию напряжений

№	Вид дефекта	Значение α_σ
1	Подрез	2,7
2	Непровар	5,1
3	Прожог	3,3

В работе был проведен анализ влияния угла наклона шва на величину напряжений. На рисунке 4 представлены результаты расчета для угла, равного 45 градусов в сравнении с результатами эксперимента.

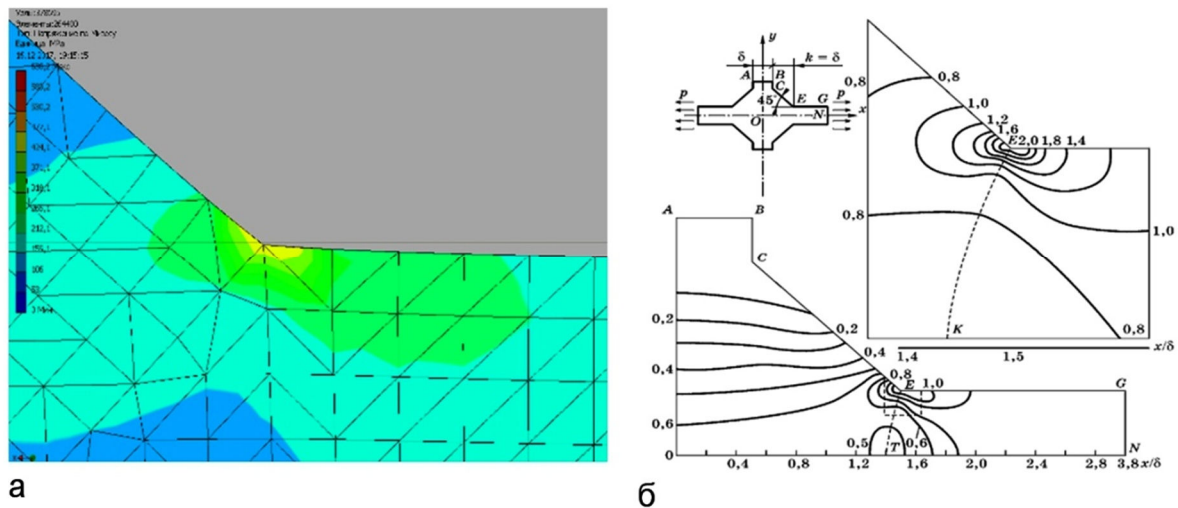


Рисунок 4 – Результаты расчета соединения с угловым швом:
а – результаты расчета; б – результаты эксперимента

Как видно из рисунка, результаты численного моделирования качественно и количественно согласуются с результатами эксперимента.

Рисунок 5 демонстрирует влияние величины угла на напряжения. Видно, как с увеличением угла растет концентрация напряжений.

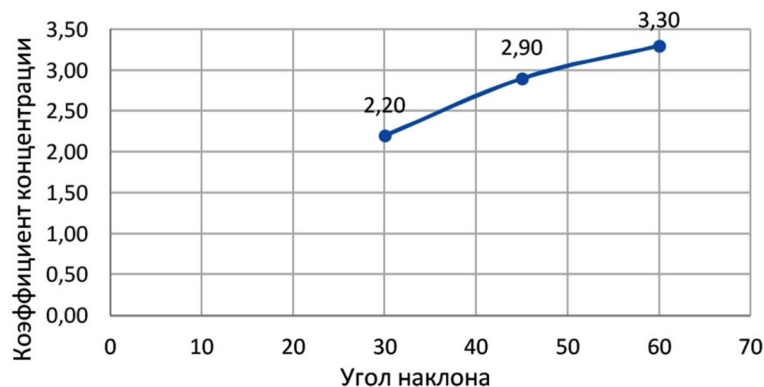


Рисунок 5 – Влияние угла наклона на напряженное состояние конструкции

Выводы. В работе выполнен анализ влияния дефектов сварных швов на напряженное состояние конструкции. Для рассмотренных вариантов конструкций рассчитаны значения теоретического коэффициента концентрации напряжений. Выявлены концентраторы с максимальным значением теоретического коэффициента концентрации напряжений. Хорошая сходимость результатов численного моделирования с аналитическими и экспериментальными данными подтверждает адекватность разработанных моделей и возможность использования разработанной методики для анализа прочности сварных соединений.

Список литературы:

1. Рыжиков И.Н. Уточнение критерия оценки прочности сварных соединений с дефектами / И.Н. Рыжиков, К.А. Вагнер // Байкальский Вестник ДААД. – 2019. – № 1. – С. 73–77.
2. Рыжиков И.Н. К оценке долговечности роторов газотурбинных двигателей // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 26–27 февраля 2016 года. – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2016. – С. 288–294.
3. Repetskiy O. Investigations of Impact of Various Types of Mistuning on Bladed Disks Vibration and Fatigue Life / O. Repetskiy, I. Ryzhikov, R. Schmidt // IFToMM Rotordynamics 2010 : IFToMM Rotordynamics 2010, Seoul, 12–15 сентября 2010 года. – Vol. 1. – Seoul : Curran Associates, 2012.

УДК 623

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ БЕСПИЛОТНАЯ АВИАЦИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЭВАКУАЦИИ

**Сагитов
Дамир Ильдарович**

**Санкт-Петербургский университет гражданской авиации
им. А.А. Новикова**
кандидат технических наук, доцент 13 кафедры
системы автоматизированного управления

**Полубояринов
Тимофей Павлович**

**Санкт-Петербургский университет гражданской авиации
им. А.А. Новикова**
студент

Аннотация. Теория и практика применения летательных средств эвакуации с комбинированными системами управления и силовой установкой.

Ключевые слова: летательный аппарат, электротехника, эффективность, подготовка авиационных специалистов, беспилотные средства спасения, эвакуация.

В условиях техногенных катастроф и проведения специальной военной операции в условия сетецентрического управления обстановкой [3] и ограниченных ресурсов медицинской техники актуальна экстренная эвакуация маломобильных потерпевших бедствие.

Бурное развитие электротехники открыло уникальную сферу в авиации – беспилотные летательные аппараты на основе использования электроэнергии.

В качестве перспективного и наиболее эффективного средства эвакуации с труднодоступной местности авторы предлагают летательные аппараты с комбинированной силовой установкой на аккумуляторах и бензогенераторе на базе запатентованной разработки – Спасательный летательный аппарат [1] и пилотируемые летательные аппараты – модификации FPV – коптеров на основе конструкции спасательного летательного аппарата (далее по тексту – СЛА) с ручным, комбинированным управлением в условиях радиопомех, с возможностью малозумного полёта, с добавлением к силовой установке аккумуляторов. Они могут применяться, как в пилотируемом варианте так и дистанционно управляемым, как FPV-дроном, там где невозможна посадка вертолётов сил спасения [2, 3].

Спасательный летательный аппарат получил диплом лауреата конкурса «Прорыв в Будущее» в номинации «Лучший инновационный проект в интересах Вооружённых сил РФ» «Армия-2022», золотомедалист международных конкурсов изобретателей и рационализаторов «Новое время», «Архимед», «Hi-Tech» 2022.

Основные тактико-технические характеристики спасательного летательного аппарата:

- Взлётная масса – 350 кг.
- Вес аппарата – 150 кг.
- Полезная нагрузка $100 \times 2 = 200$ кг.
- Экипаж: маломобильный больной (на носилках) – 1 человек (2 человека без носилок).
- Габариты в транспортном положении: 533x2300 мм.
- Габариты в полётном положении 420x4500x4480 мм.
- Максимальная высота полета – 4000 м.
- Крейсерская скорость полета – 120 км/ч.
- Максимальная дальность полета – 250 км.

Спасательный летательный аппарат представляет собой складной quadrocopter (рис. 1–4), двух гондольный (13), с шарнирным узлом (15), с четырьмя выносными штангами (3), с четырьмя электродвигателями (1) и четырьмя складными винтами на них (2),

четырьмя фарами (10) на корпусах электродвигателей, с бензогенератором (8), преобразователем, регулятором, топливным баком и газовым аккумулятором (9), двумя раскладными фонарями-обтекателями (4), два парашюта экипажа заменены аккумуляторными батареями (6), двумя подвязными-привязными системами для экипажа (7), тремя надувными поплавками (12), блоком управления (5), комбинированной системой управления с видеоканалом, унифицированной точкой подвески к самолёту-носителю (14), донным отсеком (11) с парашютной системой спасательного летательного аппарата.

Спасательный летательный аппарат в транспортном положении (рис. 1–4) находится в сложенном виде с присоединенным донным отсеком со стабилизирующим парашютом в нем (11), все оборудование спасательного летательного аппарата располагается внутри сложенных гондол (рис. 1). При отсоединении унифицированной точки подвески (14) от самолёта-носителя, из донного отсека выпускается парашютная система спасательного летательного аппарата, обеспечивающая безопасную скорость снижения до заданной высоты раскладывания спасательного летательного аппарата в приведенного в полётную конфигурацию, запуска бензогенератора с выходом его на номинальный режим работы, перехода спасательного летательного аппарата в полётный режим, отсоединение донного отсека с парашютной системой спасательного летательного аппарата от спасательного летательного аппарата.

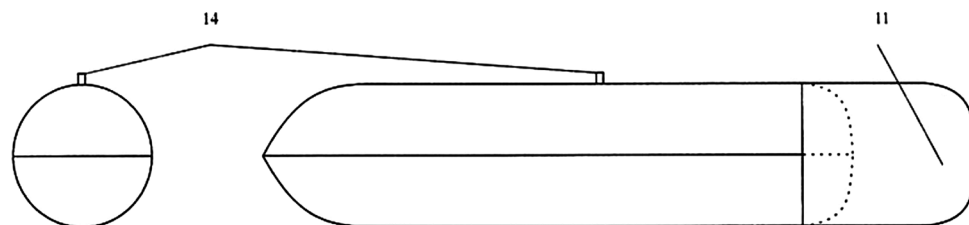


Рисунок 1 – Спасательный летательный аппарат в транспортном положении

Спасательный летательный аппарат, спускаемый на парашютной системе летательного аппарата, на заданной высоте и скорости, раскладывается симметрично на 180° на две гондолы соединенных шарнирным узлом (15) позволяющим при раскладывании преобразовать изделие в водоизмещающее судно катамаранной компоновки, разводя четыре выносные штанги (3) с четырьмя электродвигателями (1) и четырьмя складными винтами (2) на них (рис. 1–3), автоматически запуская от газового аккумулятора (9) бензогенератор (8) или от аккумуляторных батарей (6), преобразователем и регулятором обеспечивает электропитанием блок управления (5), комбинированную систему управления с видеоканалом и электродвигатели (1), надувает от газового аккумулятора (9) надувные поплавки (12), от спасательного летательного аппарата, приведенного в полётную конфигурацию, отсоединяется фал с донным отсеком (11) и парашютной системой спасательного летательного аппарата, комбинированная система управления с видеоканалом обеспечивает полет к точке эвакуации экипажа, терпящего бедствие, в дистанционном по видеоканалу или автоматическом 3D режиме с функциями полета по координатам Глонасс/GPS, облета заданных точек, удержания высоты, включения и отключения четырех фар (10) на корпусах электродвигателей (1) автоматической посадки на радиосигнал, излучаемый аварийным радиомаяком члена экипажа (7), терпящего бедствие, остановкой электродвигателей (1) со складными винтами (2) при посадке для безопасного размещения экипажа (7), после посадки экипаж (7) ложится в гондолы (13) и фиксируются подвязными-привязными системами экипажа (7) к гондолам (13) (рис. 1–4), взлет с земной или водной поверхности и возврат в заданную точку с управлением полетом в дистанционном по видеоканалу, автоматическом или в ручном режиме по выбору экипажа (7). Надувные поплавки (12) (рис. 2–3) позволяют летательному аппарату держаться на воде и осуществлять взлёт и посадку с воды.

Спасательный летательный аппарат (рис. 1–4) оборудован блоком управления (5) летательным аппаратом, и установленными в нем пультом управления и контроля, системами дистанционного управления с видеоканалом, системой видеонаблюдения и приемником Глонасс/GPS навигации, системой автоматического наведения по радио сигналу, излучаемого аварийным радиомаяком экипажа и координатам Глонасс/GPS,

маршрутной вычислительной системой. Бензогенератор (8) и аккумуляторными батареями (6), с преобразователем и регулятором обеспечивают электроснабжением блок управления (5) и электродвигатели, образуя единую систему электроснабжения спасательного летательного аппарата.

Специальный механизм складывания позволяет придать квадрокоптеру обтекаемую сигарообразную форму, что позволяет ему быть унифицированным к имеющимся в эксплуатации авиационной технике и транспортировать его на всех современных самолётах, обладающих высокой скоростью полёта, а парашютная система выпускаема из донного отсека спасательного летательного аппарата обеспечит его раскрытие и запуск на безопасной высоте и скорости.

Унифицированная точка подвески и унификация масса-габаритных показателей спасательного летательного аппарата позволит применять его с самолётов, вертолётов, морских или наземных платформ, автотехники, как экстренное эвакуационное средство спасения терпящих бедствие с земной или водной поверхности в дистанционном по видеоканалу, автоматическом или в ручном режиме управления.

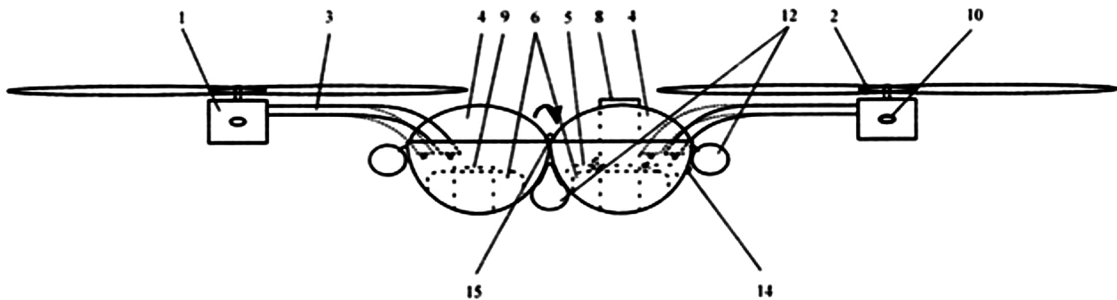


Рисунок 2 – Спасательный летательный аппарат в рабочей конфигурации, вид спереди

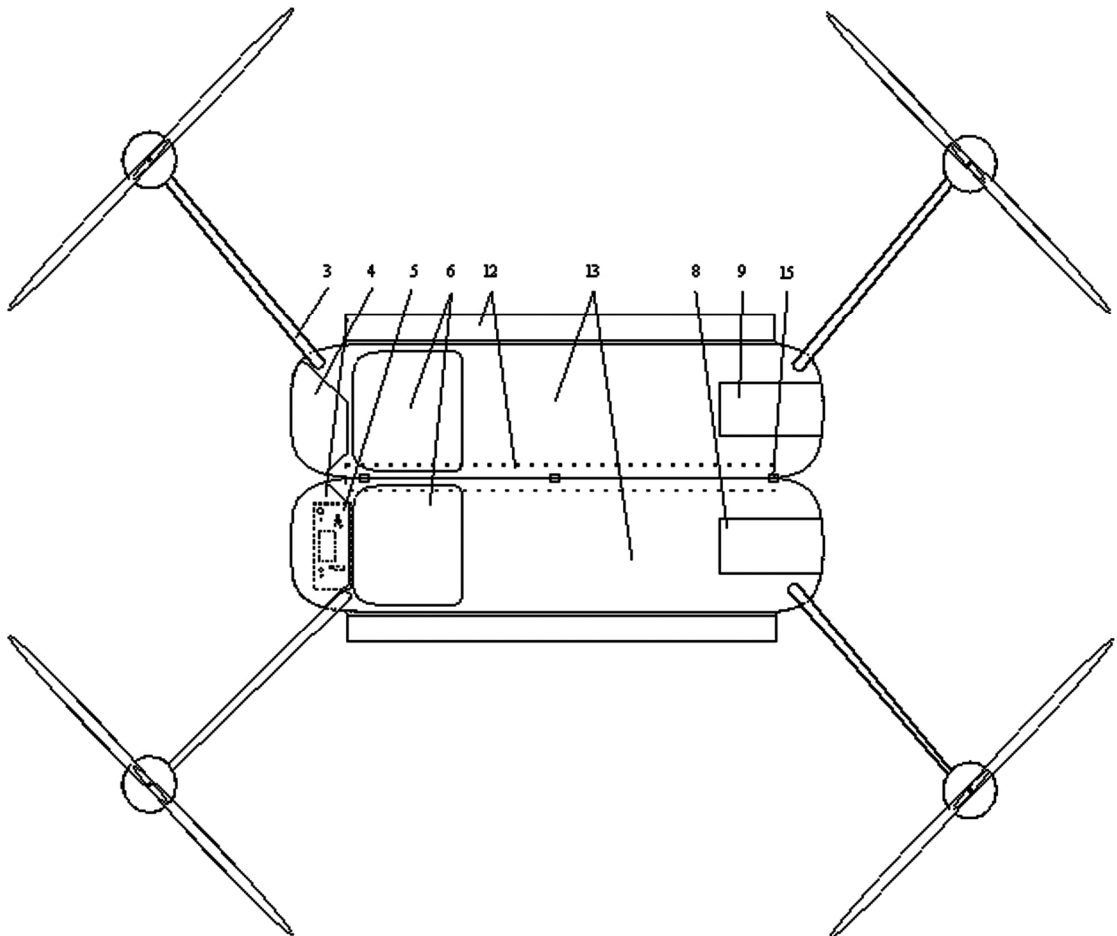


Рисунок 3 – Спасательный летательный аппарат в рабочей конфигурации

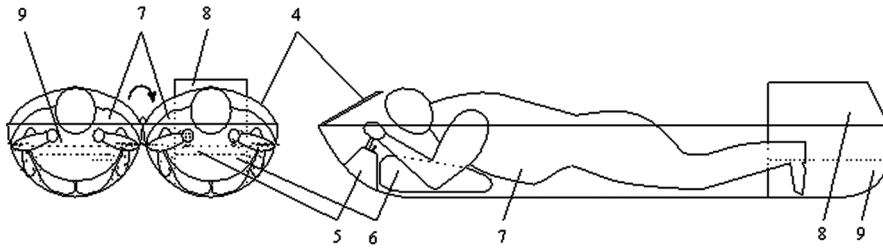


Рисунок 4 – Размещение экипажа в спасательном летательном аппарате

При отделении спасательного летательного аппарата от самолёта-носителя автоматически выпускается стабилизирующий парашют, спасательный летательный аппарат снижается на нем с уменьшенной вертикальной скоростью, происходит автоматический запуск бензогенератора от пневмостартера или аккумуляторных батарей, надувания трёх поплавком остаточным воздухом из воздушного аккумулятора, выпускаются четыре выносных штанги с электродвигателями, запускаются электродвигатели, спасательный летательный аппарат переводится в горизонтальный полет с одновременным сбросом стабилизирующего парашюта и донного отсека.

Далее спасательный летательный аппарат выполняет полет к месту приземления терпящих бедствие по спиралеобразной, зигзагообразной траектории, ориентируясь по сигналам аварийного радиомаяка. И приземляется в непосредственной близости от них, останавливает электродвигатели для безопасной посадки терпящих бедствие. После занятия мест терпящие бедствие активируют автоматический или ручной режим полета спасательный летательный аппарат на свою базу по заранее запрограммированным координатам.

Применение спасательного летательного аппарата предполагается осуществляться как с самолетов, вертолетов, так и с других наземных или водных транспортных средств обеспечения спасения экипажей. В случае приводнения терпящих бедствие на водную поверхность спасательный летательный аппарат приводняется рядом с ними на воду. Плавучесть спасательного летательного аппарата обеспечивают три надутых поплавка по его бортам и водоизмещающая форма судна из разложенных гондол спасательного летательного аппарата катамаранной компоновки. При этом взлет осуществляется с небольшим разбегом, чтобы за счет сил инжекции с задней стороны спасательного летательного аппарата (донной, кормы) и приподъема передней части спасательного летательного аппарата вода поступившая при погрузке экипажа в гондолы в основной своей массе удалится, облегчив тем самым воздушное судно с нагрузкой, далее полёт как описано выше.

Основные преимущества применения спасательного летательного аппарата:

- обеспечивается минимально-возможное время эвакуации с зоны бедствия, что позволит резко поднять выживаемость терпящих бедствие;
- отпадает необходимость подвергать риску экипажи вертолетно-спасательных службы. Они могут задействоваться только в качестве запасного варианта;
- обеспечивается полностью автоматический режим полета на свою базу, что позволит эвакуироваться даже тяжело раненым, находящимся в беспомощном состоянии;
- повышается морально-психологическая устойчивость лётного состава, выполняющего опасные задачи. Каждый пилот будет осознавать, что он имеет в полете надежное средство эвакуации;
- обеспечивается высокая экономическая эффективность спасательной операции, т.к. стоимость спасательного летательного аппарата в десятки порядков меньше, чем стоимость любого вертолета;
- малые размеры спасательного летательного аппарата (около 2,5 м в длину и 0,533 м в диаметре) позволят транспортировать его на любом транспортном средстве;
- компактные, унифицированные масса-габаритные параметры позволят применять спасательный летательный аппарат с автомобильных транспортных средств, водных транспортных средств, так и с не подготовленных поверхностей. Спасательный летательный аппарат возможно привести в рабочее положение путем отсоединения донного отсека и раскрытия его на поверхности в ручную.

Также спасательный летательный аппарат может быть использован для эвакуации гражданского населения из труднодоступных районов с сильным задымлением, сложных условий местности и метеоусловий, где невозможна посадка вертолётов сил спасения.

Внедрение санитарных летательных средств по подобию спасательного летательного аппарата позволит в значительной степени решить проблемы транспортировки раненых, маломобильных больных, как автономное унифицированное воздушное транспортное средство.

Преимущество решений достигнутых в проекте по сравнению с существующими в стране и за рубежом аналогами заключается в сокращении времени доставки санитарных средств эвакуации к терпящим бедствие (раненого или маломобильного больного), сокращение затрат ресурсов на спасательную операцию (транспортировку) более чем в 300 раз в сравнении со стоимостью пилотируемого летательного аппарата.

Принципиально новое решение, превосходящее имеющиеся средства воздушной санитарной эвакуации заключается в новизне достигнутых (планирующихся к достижению) результатов:

1. Сокращение времени доставки в медицинский пункт (транспортировка) потерпевших бедствие (раненого или маломобильного больного) с земной или водной поверхности.

2. Компактный, унифицированный транспортный летательный аппарат.

Применение в комбинированной силовой установки бензогенератора с аккумуляторными батареями позволит увеличить дальность, малозумность, скрытность эвакуации или транспортировки после производства дозаправки спасательного летательного аппарата топливом, бензином из доступных транспортных средств. В дальнейшем, необходимо рассмотреть возможность установки дополнительного гибкого бака для топлива. В результате получаем спасательного летательного аппарата с практически не ограниченной дальностью маршрута полёта при условии дозаправки.

Указанные выше преимущества электротехнической беспилотной авиации как перспективных, унифицированных летательных средств эвакуации, так и транспортировки полезной нагрузки, делают их универсальными спасательными летательными аппаратами для всех силовых структур и гражданской авиации, МЧС, особенно в труднодоступных районах и акваториях [4].

Список литературы:

1. С.В. Румянцев, П.С. Полубояринов, Д.Ю. Белоцерковский. Спасательный летательный аппарат. Патент на изобретение РФ № 2752769. Москва, 2021.

2. Оптимальное параметрическое управление динамических систем беспилотного летательного аппарата : монография / П.С. Полубояринов [и др.]. – Краснодар, 2022. – С. 108.

3. Полубояринов П.С. Рекомендации совершенствования подготовки специалистов управления роботизированными средними и тяжелыми авиационными комплексами на современном этапе // Гуманитарный вестник Военной академии Ракетных войск стратегического назначения. – Балашиха, 2019. – № 1 (14). – С. 22–25.

4. Полубояринов П.С., Вешкин С.В. Пути повышения эффективности подготовки авиационных специалистов в вузах ВКС и беспилотные средства спасения летных экипажей // Сборник материалов «Академические Жуковские чтения» IV Всероссийской научно-практической конференции. «Беспилотная авиация: теория и практика применения». ВУНЦ ВВС «ВВА». – Воронеж, 2023. – С. 123–127.

УДК 621.311

МЕТОД РАСЧЕТА УЩЕРБОВ МОНОПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДОБЫЧИ НЕФТИ ВСЛЕДСТВИЕ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Секретарев Ю.А.

Новосибирский государственный технический университет
д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры
систем электроснабжения предприятий
Sekretarevua@mail.ru

Горшунов А.А.

Новосибирский государственный технический университет
аспирант кафедры систем электроснабжения предприятий
98sever@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается метод расчета ущербов нефтедобывающих предприятий от недоотпуска электроэнергии. Значительная часть ущербов объектов нефтедобычи от нарушения электроснабжения заключается в технологических потерях нефти из-за простоя добывающего оборудования.

Ключевые слова: система электроснабжения, ущерб, монопотребитель.

Для эффективного управления ремонтами энергооборудования на промышленных предприятиях может быть применен риск – ориентированный подход (РОП). РОП позволяет направлять ресурсы на направления, имеющие наибольшие риски во время эксплуатации оборудования. Под рисками понимается математическое ожидание ущерба, возникающего от недоотпуска электроэнергии.

Монопотребитель является промышленным потребителем электроэнергии, продукция которого является единственной производимой и обладает определенной ценной. Система электроснабжения таких потребителей (нефте и газодобывающие предприятия) полностью подчинена технологическому процессу и представляют единое целое. Нарушение электроснабжения монопотребителя приводит к недовыпуску одной единственной продукции, объем которой определяется временем восстановления (ремонта) оборудования.

Во время ремонтного периода скважина не функционирует. Для оценки времени эксплуатации действующих добывающих скважин применяется количественный показатель – коэффициент эксплуатации скважин (1):

$$K_{э} = \frac{T_{экс.с}}{T_{экс.ф}}, \quad (1)$$

где $T_{экс.с}$ – фактическое время эксплуатации скважин, ч; $T_{экс.ф}$ – время эксплуатации фонда скважин, ч.

В практике работы скважин коэффициент эксплуатации для всего фонда никогда не достигает единицы и в среднем на предприятиях принимает значения от 0,94 до 0,98. Данный показатель может быть рассчитан отдельно для каждой скважины, при этом в одном или нескольких месяцах показатель может быть равен единице.

Применяя коэффициент эксплуатации рассчитывается продолжительность рабочего времени за год для отдельной скважины (2):

$$T_p = \sum_{i=1}^n K_{эi} \times t_i, \quad (2)$$

где n – рассматриваемый период времени, месяц; $K_{эi}$ – коэффициент эксплуатации скважины в i -ый месяц; t_i – число часов (или дней) в i -ом месяце.

Применяя выражение (2) в среднем можно рассчитать число часов простоя (ремонтных работ) скважин по выражению (3):

$$T_g = 8760 - \sum_{i=1}^n K_{эi} \times t_i, \quad (3)$$

Приняв значение коэффициента эксплуатации скважины равное 0,96 и используя выражение (3) рассчитывается среднее время простоя (восстановления) скважины на годовом интервале:

$$T_g = 8760 - 0,96 \times 8760 = 350,4 \text{ ч.}$$

Математическое ожидание ущерба от недоотпуска электроэнергии на годовом интервале времени в общем случае следует рассчитывать с помощью предложенного авторами [1] выражения (4):

$$M(Y) = \bar{P}_{нагр} \times T_g \times \bar{D}_{скв} \times Q \times c, \quad (4)$$

где $\bar{P}_{нагр}$ – осредненное на годовом интервале значение активной мощности потребителя, кВт; T_g – время восстановления добычи, ч; $\bar{D}_{скв}$ – осредненное на годовом интервале значение производительности скважины, тонна/кВт×ч; Q – вероятность нарушения электроснабжения рассматриваемого потребителя; c – удельная стоимость потерь добычи нефти, рубль/тонна.

Вероятность отказа рассчитывается по формуле 5, предложенной авторами [1].

$$Q = 1 - e^{-\omega T} \times J, \quad (5)$$

Отдельное внимание следует уделить показателю производительности скважины D . Под производительностью понимается суммарный объем жидкости, который выдает скважина за сутки. Жидкость состоит из воды и нефти, объем воды в скважинной жидкости выражается коэффициентом обводненности. К сожалению, как указывает автор [2], по данным на 2020 год, средняя обводненность на основных месторождениях России составляет не менее 85 %, а массовое соотношение добытой нефти и попутной воды приближается к значению 1 : 7. Расчет удельной стоимости потерь может быть рассчитан с помощью отчетов МИНФИНа России [3].

В качестве примера расчета ущерба от недоотпуска электроэнергии приводится куст скважин № 204 ТПП «Когалымнефтегаз», описанный авторами [4]. Мощность приводов каждой скважины приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Подключение оборудования к КТП

Номер скважины	Тип насоса	Мощность привода, кВт	Подключение
1	ЭЦН	32	T1
2	ЭЦН	32	T1
3	ЭЦН	63	T1
4	ЭЦН	63	T1
5	ЭЦН	63	T1
6	ЭЦН	63	T1
7	ЭЦН	63	T1
8	ЭЦН	45	T1
9	ЭЦН	45	T1
10	ЭЦН	45	T2
11	ЭЦН	45	T2
12	ЭЦН	45	T2
13	ШГНУ	15	T2
14	ШГНУ	15	T2
15	ШГНУ	15	T2
Сумма		649	

Если рассматривается отдельная скважина, например № 1 из приведенного в таблице 1 перечня, то расчет ущерба производится с помощью выражения 4, считая

что скважина низкодебитовая имеет производительность 36 м³/сут и обладает обводненностью 85 %, цены приняты на август 2023.

Осредненная производительность скважины № 1 составила:

$$\bar{D}_{скв} = 0,0061 \text{ т/кВт}\times\text{ч.}$$

Удельная стоимость потерь добычи нефти скважины № 1 составила:

$$c = 51108 \text{ руб/т.}$$

Математическое ожидание ущерба в данном случае составит:

$$M(Y) = 32 \times 350,4 \times 0,0061 \times 0,84 \times 51108 = 2,935 \text{ млн.руб.}$$

Если рассмотреть весь куст при значении вероятности нарушения его электрооборудования равном 0,04, то величина ущерба составит 1678 млн.руб.

Для более полной и достоверной оценки ущербов требуется информация о регулярном мониторинге состояния техническим систем монопотребителей. Наиболее тяжелый ущерб возникает при нарушении электроснабжения всего куста скважин из-за потери большего дебита нефти несмотря на более короткие сроки восстановления питания.

Список литературы:

1. Секретарев Ю.А., Левин В.М. Выбор и принятия решений по управлению ремонтами энергооборудования в системах электроснабжения с монопотребителем // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2021. – № 2 (83). – С. 17–25.
2. Щербакова К.О. Анализ проблемы высокой обводненности добываемой продукции горизонтальных скважин // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2022. – № 6. – С. 29–38.
3. Минфин России: о средней цене нефти марки Urals. [электронный ресурс]. – URL : https://minfin.gov.ru/ru/press-center/?id_4=38643-o_srednei_tsene_na_neft_marki_urals#:~:text=%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D1%8F%D1%8F%20%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%B0%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D1%8C%20%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B8,%E2%80%94%20%2482%2C13%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%B1%D0%B0%D1%80%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8C. (дата обращения 2.11.2023)
4. Байков И.Р. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 275 с.

УДК 622.276.52

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

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

Аннотация. В современных условиях наиболее актуальной является проблема энергосбережения при реализации производственных процессов, в том числе при разработке нефтяных и газовых месторождений.

В лабораториях Губкинского университета развернуты научно-исследовательские и конструкторские работы для создания новой энергетически эффективной турбинной, насосной и компрессорной техники, адаптированной в том числе и к осложненным условиям добычи углеводородов. Разработана и запатентована перспективная компрессорная технология с применением перспективных струйных аппаратов и турбомашин. В этих перспективных установках проточные каналы имеют сетчатую структуру. Созданы трехмерные модели с использованием 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-2023-0004.

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

В России имеется потенциал энергосбережения, и существуют возможности значительного повышения экономической эффективности проектов в сфере энергетики [1]. Известно, что в производственных системах для добычи, транспорта и переработки нефти и газа активно используются передовые научные разработки из других отраслей производства, включая авиационные технологии. 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, струйных аппаратов и турбин, имеющих сетчатую структуру проточных каналов. Кроме того, зарубежные компрессорные 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 [2–3], 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.

Для решения данной проблемы в лабораториях Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина выполняется серия научно-

исследовательских работ по созданию новых принципов преобразования энергии в динамических машинах [4–9]. 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).

В рамках исследований разработаны программы и методики физических экспериментов, создан стенд для испытаний 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 [8]. 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: отсутствует необходимость в проведении дорогостоящей предварительной подготовки и очистки газа; имеются возможности для сборки компрессорных установок на основе дешевых серийно выпускаемых эжекторов, насосов и сепарационных узлов.

В ходе исследовательской работы разработаны и запатентованы варианты перспективных струйных аппаратов и турбин, имеющие сетчатую структуру в проточных каналах [2, 10]: по патенту РФ № 214 452. Заявляемое техническое решение может быть использовано при создании струйных систем управления для энергосберегающих технологий на нефтяных и газовых месторождениях. Данное решение обеспечивает гибкую систему регулирования, позволяющую изменять направление потоков в широком диапазоне в пределах геометрической сферы. При этом расширяется область применения предлагаемой струйной установки, поскольку, помимо давления и массового расхода, удастся регулировать и направление потоков. На скважинах с высоким пластовым давлением энергия газа теряется и рассеивается в дросселе, на устье каждой такой скважины. Экологически чистая пластовая энергия газа, со скважин с высоким пластовым давлением, может быть рационально использована для работы дожимной компрессорной станции. В рамках энергосбережения, в этом случае потребление электроэнергии от внешнего источника может быть сокращено. Кроме того, запланировано использование в составе компрессорной установки.

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.

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. Патент № 214452. Струйная установка // Сазонов Ю.А., Мохов М.А., Туманян Х.А., Франков М.А., Воронова В.В., Балака Н.Н. – Заявка: 2022123131, 29.08.2022. – Опубликовано: 28.10.2022 Бюл. № 31.
3. 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.

4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Prototyping mesh turbine with the jet control system / I.A. Sazonov [et al.] // PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA. – 2020. – Vol. 17. – № 36. – P. 1160–1175.
9. 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.
10. Yuri A. Sazonov, Mikhail A. Mokhov, Inna V. Gryaznova, Victoria V. Voronova, Khoren A. Tumanyan, Mikhail A. Frankov, Nikolay N. Balaka. Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation of Mesh Jet Devices for Promising Energy-Saving Technologies // Civil Engineering Journal (C.E.J) – Vol 8, No 12 (2022) – P. 2749-2767- Doi: 10.28991/CEJ-2022-08-12-06.

УДК 621.313.333

УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

**Шабаев
Евгений Адимович**

Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин
sea007@rambler.ru

**Беленов
Виталий Николаевич**

Донской государственный аграрный университет,
Азово-Черноморский инженерный институт
кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации
энергетического оборудования и электрических машин
vetal_belenov@mail.ru

**Нелюба
Александр
Владимирович**

Донской государственный аграрный университет,
Азово-Черноморский инженерный институт
магистрант

**Ковалев
Виталий Васильевич**

Донской государственный аграрный университет,
Азово-Черноморский инженерный институт
магистрант

Аннотация. На примере асинхронного электродвигателя мощностью 55 кВт приводится расчет, потребляемой им реактивной мощности, с использованием уточненной методики. Результаты расчета могут быть использованы при обосновании числа ступеней и емкостей косинусных конденсаторов установки для компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, коэффициент загрузки электродвигателя, реактивная мощность, компенсация реактивной мощности.

Асинхронный электропривод является одним из основных приводов различных технологических агрегатов, машин и механизмов производственного и сельскохозяйственного назначения. Применяемые в нем асинхронные двигатели (ДА) относятся к индуктивным электрическим машинам, в которых электромеханическое преобразование энергии осуществляется посредством магнитного поля. На создание вращающегося магнитного поля «расходуется» реактивная энергия, которую асинхронная машина потребляет из электрической сети, что вызывает дополнительные потери мощности и загрузку линий электропередач, силовых трансформаторов, электрогенераторов. С целью повышения эффективности передачи электроэнергии и снижения нагрузки на систему электроснабжения могут применяться устройства для компенсации реактивной мощности (КРМ), которые устанавливаются в непосредственной близости с асинхронными двигателями [1].

Асинхронный электропривод в сфере агропромышленного производства зачастую существенно недогружен [2], что отрицательно сказывается на коэффициенте мощности, потребляемой им из электрической сети. Поэтому задача компенсации реактивной мощности для асинхронных электродвигателей, используемых в электроприводе сельскохозяйственного назначения, является весьма актуальной.

Полной компенсации реактивной мощности нагрузки соответствует равенство ее коэффициента мощности единице, т.е. $\cos\varphi = 1$. Современные технические средства, используемые в регулируемых установках КРМ, позволяют поддерживать $\cos\varphi$ близким к 100 %. «Источником» реактивной мощности в них служат несколько ступеней специальных косинусных конденсаторов. Одной из основных задач проектирования регулируемых установок КРМ является определение числа ступеней косинусных конденсаторов и их емкостей исходя из данных потребляемой нагрузкой реактивной мощности. Однако, не все

существующие методики позволяют с необходимой точностью произвести расчет реактивной мощности асинхронного двигателя при изменении его загрузки [2–4].

В качестве примера применения уточненной методики [4] рассмотрен электродвигатель 4A225M2 номинальной мощностью $P_H = 55$ кВт [5], который используется в электроприводе насоса 1Д 315-50 а для подачи воды в систему орошения полей. Загрузка данного электродвигателя изменяется в широких пределах: от 40 до 100 %.

В соответствии с уточненной методикой расчета [4], реактивная мощность Q (В·Ар) асинхронного электродвигателя может быть определена через следующие уравнения:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}; \quad (1)$$

$$S = \frac{P_H}{\eta_H \cos \varphi_H} \chi; \quad (2)$$

$$P = k_3 P_H + (a_2 \chi^2 + a_0); \quad (3)$$

$$\chi = I_3 / I_H = b_2 k_3^2 + b_1 k_3 + b_0, \quad (4)$$

где S – полная мощность, потребляемая электродвигателем из сети, В·А; P – активная мощность, потребляемая электродвигателем из сети, Вт; $\eta_H = 91,0$ % и $\cos \varphi_H = 0,920$ – номинальные значения КПД и коэффициента мощности ДА; χ – кратность тока электродвигателя; k_3 – коэффициент загрузки электродвигателя; $I_H = 100$ А – номинальный ток электродвигателя; I_3 – ток электродвигателя при заданной загрузке, А; $a_0 = 2470,7$ Вт и $a_2 = 2976,0$ В/А – коэффициенты математической модели, описывающей изменение потерь в ДА от кратности тока; $b_0 = 0,1330$, $b_1 = 0,7254$ и $b_2 = 0,1398$ – коэффициенты математической модели $\chi = f(k_3)$.

Результаты расчета мощностей электродвигателя 4A225M2 по уравнениям (1)–(4) для диапазона загрузки 0,2...1,5 представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Электрические мощности ДА при различной загрузке

k_3	χ	P , кВт	S , кВ·А	Q , кВ·Ар
0,20	0,284	13,71	18,64	12,62
0,30	0,363	19,36	23,86	13,94
0,40	0,446	25,06	29,27	15,12
0,50	0,531	30,81	34,86	16,32
0,60	0,619	36,61	40,64	17,64
0,70	0,664	39,53	43,60	18,38
0,80	0,756	45,42	49,65	20,04
0,90	0,851	51,37	55,88	21,99
1,00	0,948	57,40	62,30	24,23
1,10	1,049	63,49	68,90	26,76
1,20	1,152	69,67	75,69	29,58
1,30	1,258	75,93	82,66	32,66
1,40	1,367	82,28	89,81	36,00
1,50	1,479	88,73	97,15	39,56

На рисунке 1 видно, что активная мощность, потребляемая из сети ДА, практически линейно ($R^2 = 0,9996$) зависит от степени загрузки электродвигателя. Изменение реактивной мощности – имеет выраженный нелинейный вид (рис. 1). Зависимость $Q = f(k_3)$ с высокой точностью может быть описана квадратным уравнением:

$$Q = c_2 k_3^2 + c_1 k_3 + c_0. \quad (5)$$

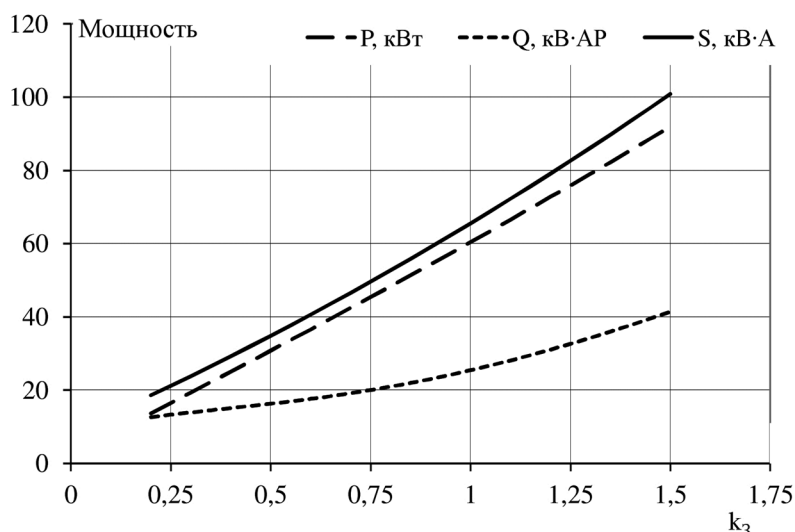


Рисунок 1 – Активная, реактивная и полная мощности ДА при различной нагрузке

Для определения коэффициентов математической модели (5) использовалось программное обеспечение «Excel» [6]. С помощью функции «ЛИНЕЙН» рассчитаны значения коэффициентов c_i : $c_0 = 12544$ В·АР; $c_1 = 910,83$ В·АР; $c_2 = 12166$ В·АР и коэффициент детерминации, характеризующий точность модели (5) – $R^2 = 0,9995$.

В результате математическая модель описывающая функциональную зависимость $Q = f(k_3)$ для электродвигателя 4A225M2 имеет следующий вид:

$$Q = 12166k_3^2 + 910,83k_3 + 12544. \quad (6)$$

В соответствии с уравнением (6) производим расчет реактивной мощности для заданного диапазона загрузки электродвигателя $k_3 = 0,4 \dots 1,0$:

$$Q_{40\%} = 12166 \cdot 0,4^2 + 910,83 \cdot 0,4 + 12544 = 14855 \text{ В·АР};$$

$$Q_{100\%} = 12166 \cdot 1^2 + 910,83 \cdot 1 + 12544 = 25621 \text{ В·АР}.$$

Таким образом, реактивная мощность, потребляемая электродвигателем 4A225M2 из сети, для диапазона его загрузки 40...100 % повышается с 14,86 до 25,62 кВт·АР, т.е. возрастает на 72,4 %.

Полученная математическая модель (6) может быть использована для определения числа ступеней косинусных конденсаторов и их емкостей, применяемых в установке КРМ на насосной станции для орошения полей.

Список литературы:

1. Грачева Е.И. Компенсация реактивной мощности: учебное пособие. – М. : НИУ МЭИ, 2018. – 160 с.
2. Епифанов А.П. Электропривод в сельском хозяйстве / А.П. Епифанов, А.Г. Гушинский, Л.М. Малайчук. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 224 с.
3. Электропривод: Практикум / Е.А. Шабаев [и др.]. – Зерноград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 94 с.
4. Шабаев Е.А. Применение уточненной методики расчета энергетических показателей работы асинхронного двигателя / Е.А. Шабаев, А.Г. Каспарян // АгроЭкоИнфо. – 2019. – № 3(37). – С. 39.
5. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А.Э. Кравчик [и др.]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.
6. Уокенбах Дж. Microsoft Excel 2013. Библия пользователя / Дж. Уокенбах. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2015. – 928 с.

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ
В ТЕХНИЧЕСКОЙ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ**

УДК 004.92

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ WEBGPU**Абрамов
Вадим Сергеевич****Национальный исследовательский университет ИТМО**
аспирант
vadim-abramov-00@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию технологии WebGPU и ее потенциала в контексте веб-разработки, в том числе представлены результаты анализа инновационной графической технологии, разрабатываемой для веб-платформы. Выделяется потенциал WebGPU как нового стандарта работы с графическими ресурсами в веб-среде благодаря возможности создания сложных интерактивных веб-приложений за счет высокой оптимизации и параллельным вычислениям. Рассматриваются основные принципы работы WebGPU и отличия от традиционных графических API, таких как WebGL.

Ключевые слова: веб-технологии, WebGPU, браузер, графика, JavaScript.

Развитие технологий для работы с графикой в браузере имеет долгую историю, которая началась ещё в 1990-х годах. В первые годы существования всемирной паутины веб-страницы оставались в основном текстовыми. Графика на страницах ограничивалась небольшими статичными изображениями, обычно в формате GIF или JPEG. HTML теги, такие как `img`, позволяли разработчикам вставлять изображения на страницы и являлись основным способом работы с графическими изображениями. В конце 1990-х веб-разработчики начали использовать каскадные таблицы стилей (CSS) для управления визуальным стилем веб-страниц. Это позволило создавать более сложные макеты, стили и анимации для графики на веб-страницах.

Появление языка программирования JavaScript в начале 2000-х открыло новые возможности для работы с графикой в веб-браузерах. Разработчики начали использовать язык для создания интерактивных элементов, анимаций, и даже небольших и простых браузерных игр. Это позволило улучшить пользовательский опыт и сделать веб-страницы более динамичными.

С появлением стандарта HTML5 в начале 2010-х годов, открылись новые возможности для работы с векторной и растровой графикой. Векторные изображения стали доступными благодаря Scalable Vector Graphics (SVG), что позволило создавать графику, которая масштабируется без потери качества. Элемент `canvas` стал инструментом для рисования графики и создания анимаций непосредственно в браузере. А уже в 2011 году была создана технология WebGL, которая является надстройкой над языком JavaScript и позволяет работать с 3D-графикой в веб-браузерах с использованием API, аналогичного OpenGL. WebGL открыл двери для создания виртуальной и дополненной реальности, трехмерных игр и более сложных визуализаций данных. Однако WebGL имел ряд технических ограничений, из-за которых вытекала недостаточная производительность и неудобство работы с технологией в некоторых сценариях. Например, вычисления сделаны таким образом, что данные превращаются в изображение, которое загружается в WebGL как текстура, затем в пиксельном шейдере производятся вычисления и результат отображается в виде набора пикселей на элементе `canvas`. Считывание результатов производится с помощью метода `getPixelsData` [1]. Скорость вычислений снижается из-за преобразования данных.

В 2020 году была представлена технология WebGPU, которая предоставляет API для работы с графикой и параллельными вычислениями в веб-браузерах. WebGPU представляет собой набор стандартов и API, которые пересматривают подход к работе с графикой и вычислениями в веб-браузерах, открывая новые перспективы как для разработчиков, так и для пользователей.

WebGPU предоставляет разработчикам относительно прямой доступ к ранее недоступным низкоуровневым ресурсам GPU, который приводит к меньшему количе-

ству вызовов API, не вызывая никаких накладных расходов, по сравнению с WebGL. WebGPU не является заменой WebGL API, скорее, он рассматривается как его преемник [2].

Технология обеспечивает доступ к GPU через объекты GPUAdapter, GPUDevice и GPUQueue, где команды определяются через буфер GPUCommandBuffer, который передается в GPUQueue:

GPUAdapter – это объект, идентифицирующий конкретную реализацию WebGPU в системе (например, реализацию с аппаратным ускорением на интегрированном или дискретном GPU или программную реализацию). Два разных объекта GPUAdapter на одной странице могут относиться к одной и той же реализации или к двум разным базовым реализациям (например, к интегрированному и дискретному GPU) [3],

GPUDevice представляет собой логическое соединение с адаптером WebGPU. Оно называется «устройством», поскольку абстрагируется от базовой реализации (например, видеокарты) и инкапсулирует единственное соединение: код, владеющий устройством, может действовать так, как будто он является единственным пользователем адаптера,

GPUQueue – контролирует выполнение закодированных команд на графическом процессоре,

GPUCommandBuffer – предварительно записанные списки команд GPU, которые могут быть переданы в очередь GPUQueue для выполнения. Каждая команда GPU представляет собой задачу, которая должна быть выполнена на GPU, например, установка состояния, отрисовка, копирование ресурсов и т.д.

Программа выполняется на графическом процессоре по описанным контурам, которые представляют собой комбинацию этапов с фиксированными функциями и шейдерами [4]. Шейдеры написаны на языке WGLSL и поддерживают несколько типов функций точки входа – вершинную, фрагментную и вычислительную. WGLSL является императивным языком, т.е. поведение задается в виде последовательности операторов для выполнения: объявление констант и переменных, применение циклов while и for, выборочное выполнение кода с помощью оператора if/else. Язык является статически типизированным, где каждое значение, вычисляемое конкретным выражением, имеет заранее заданный тип, определяемый только при изучении исходного текста программы. WGLSL работает с двумя типами команд:

- команда отрисовки – выполняет конвейер рендеринга в контексте входов, выходов и подключенных ресурсов;
- команда диспетчеризации – выполняет конвейер вычислений в контексте входов и подключенных ресурсов.

WebGPU обеспечивает функциональность, ранее недоступную для WebGL, посредством вычислительных шейдеров, позволяющих аппаратно ускорять общие вычисления в браузере, которые не были реализованы напрямую в WebGL. Из-за этого разработчикам приходилось создавать данные для вычислений в виде текстуры и лишь за тем отправлять их для расчета в WebGL. Схема этапов вычислений для WebGL и WebGPU предоставлена на рисунках 1 и 2.

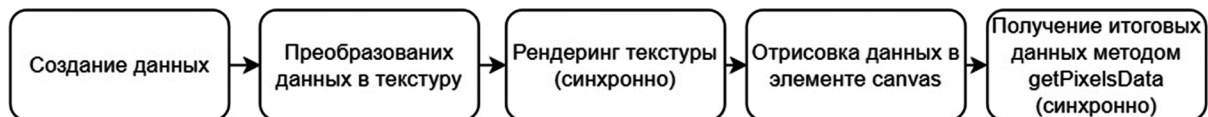


Рисунок 1 – Вычисление в WebGL

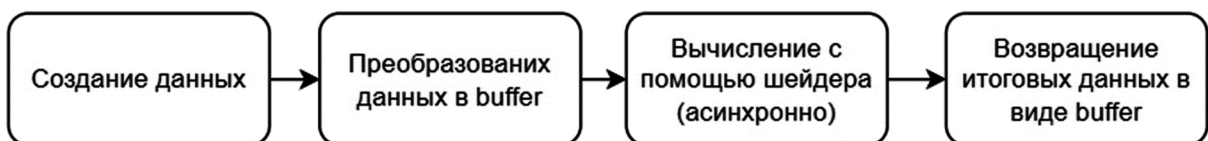


Рисунок 2 – Вычисление в WebGPU

По рисункам, представленным выше, можно выделить ряд существенных отличий:

- нет необходимости преобразовывать данные в текстуру;
- вычисление выполняется асинхронно и не блокирует основной поток, что повышает отзывчивость и плавность работы приложения;
- не нужно создавать элемент canvas, вследствие чего также не используется блокирующий метод `getPixelsData`;
- не нужно преобразовывать полученные значения пикселей в данные.

Таким образом, WebGPU предлагает более быстрый, оптимизированный и не блокирующий основной поток метод вычисления.

Сравнение производительности WebGPU, WebGL и JavaScript. Для тестирования скорости выполнения кода выбран сценарий перемножения матриц, так как он легко масштабируется и создает достаточную нагрузку. Например, умножение матриц 60x60 потребует 428400 операций.

Замер производительности был реализован через внутренний API браузера Performance, который создает временные метки до и после выполнения тестируемой части кода. Анализируя полученные метки с помощью метода `performance.now`, можно вычислить скорость выполнения расчета. Этот метод возвращает временную метку, указывающую на время в миллисекундах, прошедшее с момента начала существования документа [5].

Оборудование для тестирования:

- Процессор AMD Ryzen 7 4800H с тактовой частотой 2.9 ГГц.
- Оперативная память – 16гб поколения DDR4.
- Видеокарта NVIDIA GeForce 1660 Ti.
- Браузер Google Chrome.

Результаты тестирования представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Таблица 1 – Результаты тестирования

Размер матрицы	JavaScript	WebGL	WebGPU
16x16	2 мс	35 мс	18 мс
31x31	1 мс	13 мс	5 мс
60x60	1 мс	14 мс	5 мс
118x118	3 мс	15 мс	6 мс
323x323	23 мс	17 мс	6 мс
633x633	503 мс	43 мс	14 мс
1240x1240	Код не работает	322 мс	52 мс
2430x2430	Код не работает	455 мс	194 мс
4763x4763	Код не работает	Код не работает	316 мс

Как можно заметить по результатам, язык JavaScript занимал лидирующие позиции пока размер матриц не превысил 118x118. Затем код заметно стал отставать от других технологий и по итогу вообще перестал выполняться из-за слишком большого количества операций. Что куда интересней так это результаты первого запуска технологий WebGL и WebGPU, которые сильно уступают последующим по времени исполнения. Это связано с тем, что обоим интерфейсам требуется время на первый запуск. Все последующие этапы тестирования WebGPU занимал лидирующие позиции по сравнению с WebGL.

Из проведенного тестирования можно сделать вывод, что WebGPU значительно производительней своего предшественника, но для наименьшего количества вычислений хватает мощностей JavaScript, который также не уступает по скорости выполнения, а в некоторых случаях превосходит обе технологии.

Выводы. На протяжении десятилетий веб-технологии продолжают эволюционировать, и среди них одним из ключевых аспектов является обработка графики в браузере. WebGPU – это API для обработки графики в веб-браузерах, разработанное с

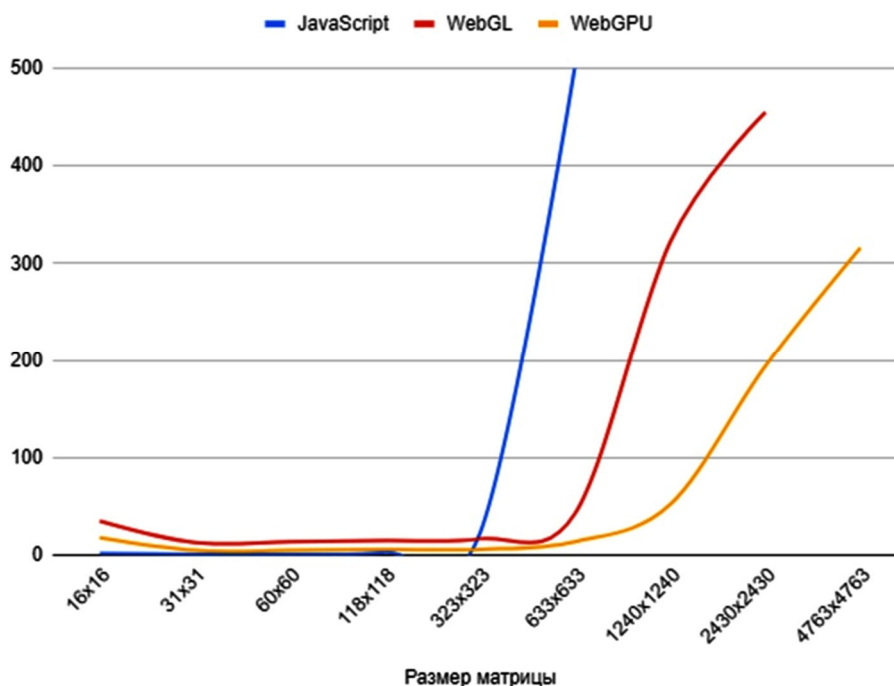


Рисунок 3 – График результатов тестирования

учетом современных стандартов и потребностей в разработке веб-приложений. Оно предоставляет более низкий уровень абстракции, что позволяет разработчикам более тесно управлять аппаратными ресурсами и максимально использовать вычислительную мощность устройств. Технология представляет собой значительный шаг вперед по сравнению с уже существующими решениями, такими как WebGL. Интерфейс предоставляет ряд преимуществ, которые ранее были недоступны.

Во-первых, это более современное API, которое учитывает текущие требования к производительности и качеству графики. Во-вторых, оно предоставляет более скоростной доступ к аппаратным ресурсам и многозадачность, что позволяет эффективно использовать процессоры современных устройств. Кроме того, WebGPU обеспечивает лучшую поддержку многопоточности и асинхронных операций, что важно для создания реалистичных визуальных эффектов.

С постоянным улучшением и расширением поддерживаемых браузеров, технология, безусловно, станет основным инструментом для разработки сложных и интерактивных веб-приложений.

Список литературы:

1. WebGPU computations performance in comparison to WebGL. – URL : <https://pixelscommander.com/javascript/webgpu-computations-performance-in-comparison-to-webgl/>
2. Emil Fransson, Jonatan Hermansson. Performance comparison of WebGPU and WebGL in the Godot game engine, 2023. – С. 10.
3. WebGPU W3C Working Draft. – URL : <https://www.w3.org/TR/webgpu/>
4. Benedikt Peter Particle System in WebGPU, 2023. – С. 2.
5. Измерение производительности JavaScript-функций – URL : <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/495894/>

УДК 621.313-57+621.316.925

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ УГРОЗ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК
НА ОБЪЕКТЫ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ****Батищев
Константин
Алексеевич**Краснодарское высшее военное орденов Жукова
и Октябрьской Революции Краснознаменное училище
имени генерала армии С.М. Штеменко**Левчик
Марк Эдуардович**Краснодарское высшее военное орденов Жукова
и Октябрьской Революции Краснознаменное училище
имени генерала армии С.М. Штеменко**Спирин
Сергей Андреевич**Краснодарское высшее военное орденов Жукова
и Октябрьской Революции Краснознаменное училище
имени генерала армии С.М. Штеменко

Аннотация. В статье приводится анализ возможностей существующего методического аппарата в области оценки угроз безопасности информации (УБИ). Анализируются существующие методики вероятностной оценки актуальных УБИ на примере оценки уровня угроз компьютерных атак (КА) на объекты критической информационно-инфраструктуры (КИИ). Приводятся принципиальные недостатки рассматриваемых методик и возможные направления для их преодоления.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура, угроза безопасности информации, компьютерная атака, автоматизированная система управления, оценка угроз компьютерных атак.

Анализ состояния информационной безопасности и национальных приоритетов Российской Федерации показывает, что одним из основных направлений обеспечения информационной безопасности является «повышение защищенности критической информационной инфраструктуры и устойчивости ее функционирования, развитие механизмов обнаружения и предупреждения информационных угроз и ликвидации последствий их проявления, вызванных информационно-техническим воздействием на объекты критической информационной инфраструктуры» [1, 2].

Под объектами критической информационной инфраструктурой понимаются информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления субъектов критической информационной инфраструктуры [3].

В соответствии с [3] автоматизированная система управления (АСУ) КИИ представляет собой комплекс программных и программно-аппаратных средств, предназначенных для контроля за технологическим и (или) производственным оборудованием (исполнительными устройствами) и производимыми ими процессами, а также для управления такими оборудованием и процессами.

По данным [4–6] для АСУ КИИ видом деструктивного информационно-технического воздействия являются компьютерные атаки, которые представляют собой целенаправленное воздействие программных и (или) программно-аппаратных средств на объекты критической информационной инфраструктуры, сети электросвязи, используемые для организации взаимодействия таких объектов, в целях нарушения и (или) прекращения их функционирования и (или) создания угрозы безопасности обрабатываемой такими объектами информации [3].

Необходимо отметить, что одним из принципов обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры является приоритет предотвращения компьютерных атак [7].

В данном контексте противодействие компьютерным атакам на КИИ является приоритетным направлением деятельности Государственной системы обнаружения,

предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации (далее – ГосСОПКА).

Одной из важнейших задач в рамках совершенствования ГосСОПКА является осуществление контроля степени защищенности информационных ресурсов Российской Федерации от компьютерных атак, что подразумевает проведение оценки УБИ на объекты КИИ [8].

Порядок оценки УБИ в настоящее время определен официальными нормативно-методическими документами ФСТЭК России [9] и представлен в методиках вероятностной оценки актуальных УБИ [10], в основе которых лежит экспертный подход.

По результатам проведения анализа положений указанных методик в части процесса оценки угроз КА на АСУ КИИ становится ясно, что отнесение факторов, способствующих возникновению угроз КА, осуществляется экспертами путем установления соответствия между такого рода источниками и их признаками. В результате формируется множество $\{a_k\}$, $k = 1, 2, \dots, |a_k|$, элементы которого являются признаками источников угроз, а индексы – их номерами.

Для АСУ КИИ источниками угроз компьютерных атак являются:

$k = 1$ – иностранные спецслужбы;

$k = 2$ – криминальные структуры;

$k = 3$ – персонал объекта эксплуатации АСУ КИИ;

$k = 4$ – производители оборудования и организации, осуществляющие ремонт и обслуживание средств вычислительной техники (СВТ) и периферийного оборудования объекта;

a_1 – наличие интереса у иностранных спецслужб к АСУ КИИ;

a_2 – наличие интереса у криминальных структур к АСУ КИИ;

a_3 – самостоятельное проведение персоналом АСУ КИИ обслуживания СВТ и периферийного оборудования, входящих в её состав;

a_4 – использование несертифицированного программного обеспечения при техническом обслуживании и ремонтно-восстановительных работах на АСУ КИИ.

Использование расчетных методик, которые позволяют установить факт возможной угрозы проведения компьютерной атаки на информационные ресурсы АСУ КИИ, является той самой особенностью выявления уязвимостей АСУ. В рамках определения уязвимостей АСУ к реализации угроз компьютерных атак проводится экспертный анализ её информационных ресурсов. В результате формируется множество $\{b_l\}$, $l = 1, 2, \dots, L$, элементы которого определяют уязвимости. При этом индексы соответствуют номерам уязвимостей из их перечня.

В случае оценки уровня угрозы компьютерной атаки на АСУ КИИ уязвимыми для такого рода угроз являются:

b_1 – драйверы средств ввода информации;

b_2 – драйверы средств отображения информации;

b_3 – драйверы средств обработки информации;

b_4 – драйверы микросхем базовой системы ввода-вывода;

b_5 – программное обеспечение средств вычислительной техники;

b_6 – программное обеспечение коммуникационного оборудования;

b_7 – стек протоколов передачи информации;

b_8 – протоколы межсетевого взаимодействия прикладного уровня;

b_9 – недокументированные точки межсетевого взаимодействия;

b_{10} – общие сетевые ресурсы;

b_{11} – несертифицированные компоненты программного обеспечения;

b_{12} – кабели оборудования объекта эксплуатации на участках, где к ним имеется физический доступ.

Количественная оценка угрозы реализация компьютерных атак определяется как вероятность создания условий для их реализации. В соответствии с рассмотренными методиками данная вероятность оценивается специалистами экспертным путем. Результаты оценки представляются лингвистическими значениями: «да», «вероятно», «возможно», «маловероятно» и «нет», характеризующими возможности использования

k -м источником угрозы компьютерной атаки l -ой уязвимости. Каждому из пяти лингвистических значений ставится в соответствие вероятность p_{kl} использования k -м источником l -ой уязвимости. На основании данной вероятности определяется вероятность p_l использования l -й уязвимости ($l = 1, 2, \dots, 12$) возможными пятью источниками угроз:

$$P_l = 1 - (\gamma_{l1} \cdot (1 - p_{l1}) \cdot \gamma_{l2} \cdot (1 - p_{l2}) \cdot \gamma_{l3} \cdot (1 - p_{l3}) \cdot \gamma_{l4} \cdot (1 - p_{l4}) \cdot \gamma_{l5} \cdot (1 - p_{l5})), \quad (1)$$

где γ_{lk} – коэффициент соответствия, равный 1, если l -я уязвимость соответствует k -му источнику и 0, если не соответствует.

Это позволяет сформировать множество $\{u_m\}$, $m = 1, 2, \dots, M$, угроз компьютерных атак]:

u_1 – загрузка вредоносного программного обеспечения с функциями альтернативной операционной системы с повышенными привилегиями;

u_2 – несанкционированное копирование информации;

u_3 – несанкционированная модификация информации;

u_4 – внедрение ложного доверенного объекта;

u_5 – подмена системного программного обеспечения;

u_6 – перенаправление сетевого трафика;

u_7 – манипулирование данными в удаленном режиме;

u_8 – использование ошибок в алгоритмах прикладного программного обеспечения;

u_9 – блокирование хоста пользователя;

u_{10} – блокирования маршрутизатора;

u_{11} – обход межсетевого экрана;

Количественной характеристикой уровня m -ой угрозы компьютерной атаки, где $m = 1, 2, \dots, 11$, на информационные ресурсы АСУ является вероятность:

$$P_{m^{(v)}} = 1 - \prod(1 - a_{lm} \cdot P_l), \quad (2)$$

где P_l – соответствует выражению (1); a_{lm} – коэффициент актуальности уязвимостей информации объекта для инициализации угроз компьютерных атак, равный 1, если l -я уязвимость актуальна для инициализации m -ой угрозы и 0, если не актуальна.

Значения коэффициента актуальности уязвимостей информации АСУ для инициализации угроз компьютерных атак приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента актуальности уязвимостей информации АСУ КИИ для инициализации угроз компьютерных атак

Угрозы компьютерных атак	Уязвимости информационных ресурсов АСУ КИИ к реализации угроз компьютерных атак											
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}
u_1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
u_2	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
u_3	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
u_4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
u_5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
u_6	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
u_7	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
u_8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
u_9	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
u_{10}	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
u_{11}	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Количественной характеристикой деструктивного воздействия компьютерных атак на АСУ КИИ является вероятность:

$$P_{m^{(Д)}} = 1 - \prod(1 - \delta_{mn} \cdot P_{m^{(У)}}), \quad (3)$$

где $P_{m^{(У)}}$ – соответствует выражению (2); n – номер деструкции (1 – несанкционированное копирование информации, 2 – ее несанкционированная модификация, 3 – блокирование доступа к информационным ресурсам АСУ); δ_{mn} – коэффициент деструкции, равный 1, если m -я угроза реализует n -ю деструкцию или 0, если не реализует.

Значения коэффициента деструкции угроз компьютерных атак на информационные ресурсы АСУ КИИ приводятся в таблице 2. В таблице использованы следующие условные обозначения деструкций: НК – несанкционированное копирование информации, НМ – несанкционированная модификация информации, БД – блокирование доступа к информационным ресурсам.

Таблица 2 – Значения коэффициента деструкции угроз компьютерных атак на информационные ресурсы АСУ КИИ

Деструкции	Угрозы компьютерных атак										
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}
НК	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
НМ	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
БД	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1

С учетом изложенного представляется возможным сделать вывод о том, что достоинством существующих методик оценки актуальных угроз безопасности информации является простота процедур оценки. Однако, следует отметить и недостатки, основным из которых является отсутствие возможности учета динамики воздействия компьютерных атак на информационные ресурсы АСУ КИИ в процессе их реализации. Применение существующих методик на практике дает количественную оценку вероятности успешного выполнения нарушителем его целевой функции без учета этапа реализации КА и связанных с этим обстоятельств и условий. Вместе с тем к выявленным недостаткам относится низкая статистическая достоверность, характерная для экспертных оценок.

Принимая во внимание указанные в настоящей статье особенности и недостатки существующего методического аппарата оценки угроз компьютерных атак, а также обстоятельства, обуславливающие необходимость совершенствования методик оценки, следует отметить возрастание требований к обеспечению состояния защищенности АСУ КИИ и требований к обоснованности характеристик процессов обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы этих объектов, что в свою очередь ставит вопросы оценки угроз компьютерных атак в разряд актуальных и нуждающихся в проработке как в методическом, так и в прикладном плане.

Список литературы:

1. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации, утверждена Указом Президента Российской Федерации от 5 декабря 2016 г. № 646 // Российская газета. – 2016.
2. Соколовский С.П., Шарифуллин С.Р., Благов В.В. Инновационные информационные технологии в контексте обеспечения информационной безопасности // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 57-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос (12–13 апреля 2018 года) : сборник научных статей / КВВАУЛ им. А.К. Серова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2018. – С. 96–102.
3. Федеральный закон № 187-ФЗ от 26.07.2017 «О безопасности КИИ РФ».
4. Positive Technologies Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года (<https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/>)

5. Kaspersky Security Bulletin. Киберугрозы для АСУ и промышленных предприятий в 2023 году (<https://securelist.ru/ics-cyberthreats-in-2023/106131/>)
6. Соколовский С.П., Шарифуллин С.Р., Маленков Е.С. Модель конфликта в информационной сфере // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 57-ой годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос. Сборник научных статей / КВВАУЛ им. А.К. Серова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2018. – С. 299–304.
7. Iskolnyy B.B., Maximov R.V., Sharifullin S.R. Survivability Assessment of Distributed Information and Telecommunication Networks // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings conference proceedings. – 2017. – С. 59–65.
8. Указ Президента РФ от 22 декабря 2017 № 620 «О совершенствовании государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации».
9. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации – ФСТЭК России, 2021.
10. Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных – ФСТЭК России, 2008.

УДК 004.925

СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ДАННЫХ НА ВЕБ-КАРТАХ

**Бондарь
Артемий Алексеевич**

Национальный исследовательский университет ИТМО
магистрант
artemiy.bondar49@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются два актуальных способа представления больших объемов данных на веб-картах: кластеризация и тепловые карты. Также приведена реализация данных методов в сервисах Яндекс Карты и Yandex DataLens.

Ключевые слова: географические данные, веб-карта, кластеризация, кластер, тепловая карта.

С каждым годом объём географических данных, собираемых различными сервисами, быстро растёт. На сегодняшний день веб-карты являются актуальным инструментом для отображения информации в интернете. Популярными картографическими веб-платформами являются Google Maps, Яндекс Карты, 2ГИС и другие. Данные платформы также имеют широко используемые дополнительные сервисы:

- Сервисы геолокации и геокодирования.
- Сервис отображения организаций по адресам.
- Сервис отображения транспорта и трафика на дорогах.

Однако для визуализации некоторой географической статистики необходимо визуализировать данные на веб-карте. Стандартным для этого способом является точечная карта. Точечная карта представляет собой дополнительный слой, на котором изображены метки (точки). Размеры и цвета точек можно менять в зависимости от характеристик объекта. Однако при увеличении данных метод точечной карты становится перегруженным и медленно обрабатываемым. Таким образом, для представления всё большего количества информации картографические сервисы стали применять следующие методы:

- Кластеризация.
- Тепловые и фоновые карты.

Кластеризация является методом статистического анализа, в ходе которого происходит группировка объектов на подмножества (кластеры) на основе какого-либо критерия [1]. В случае географических данных основным критерием является географическое расположение (широта и долгота). В Яндекс Картах за объединение меток на карте отвечает объект кластеризатор, реализуемый классом Clusterer на языке программирования JavaScript [2]. В качестве параметров объекту можно передать следующие опции: минимальное количество объектов в кластере, область кластеризации на карте, показ всплывающей подсказки с информацией для пользователя и другие. Также инициализированному объекту на вход передаётся массив с метками. На рисунке 1 представлен пример отображения кластеров в сервисе Яндекс Карт.

Кластеризация является актуальным методом представления множеств географических объектов на веб-картах. Отображение кластеров минимально влияет на общее представление карты, а также легко настраивается. Также присутствует возможность добавления интерактивности к кластерам, к примеру, всплывающие окна с информацией об объектах в данном множестве. Следует отметить, что кластеризация также является динамической, то есть при масштабировании множества объектов соединяются или разъединяются на более мелкие подмножества.

Тепловая карта является одной из возможностей сервиса Yandex DataLens. Данный сервис создан для обработки и визуализации информации. Тепловая карта представляет собой окрашенную в несколько цветов местность [3]. Цвета показывают плотность распределения точек. Окрашивание местности происходит на дополнитель-

ном слое веб-карты. Также сервис позволяет добавлять различные фильтры к данным и изменять цвета окрашивания. На рисунке 2 представлен пример тепловой карты сервиса Yandex DataLens.

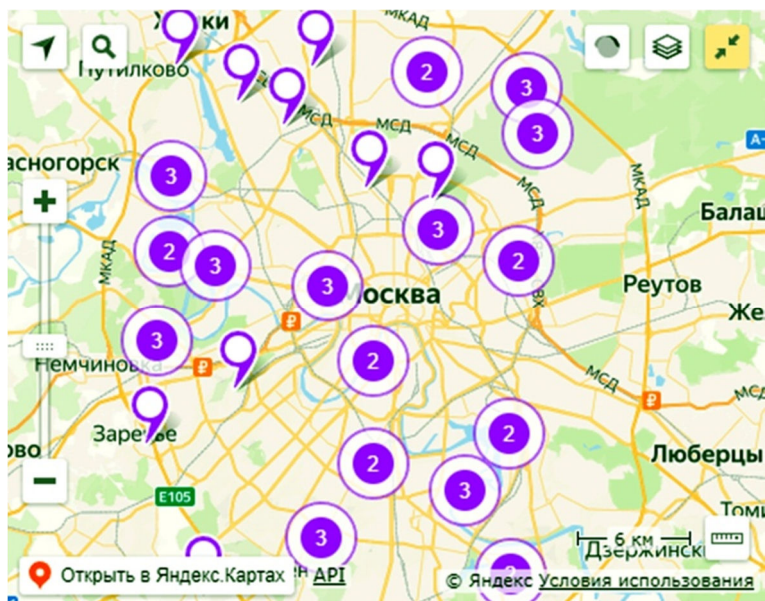


Рисунок 1 – Кластеризация в Яндекс Картах [2]

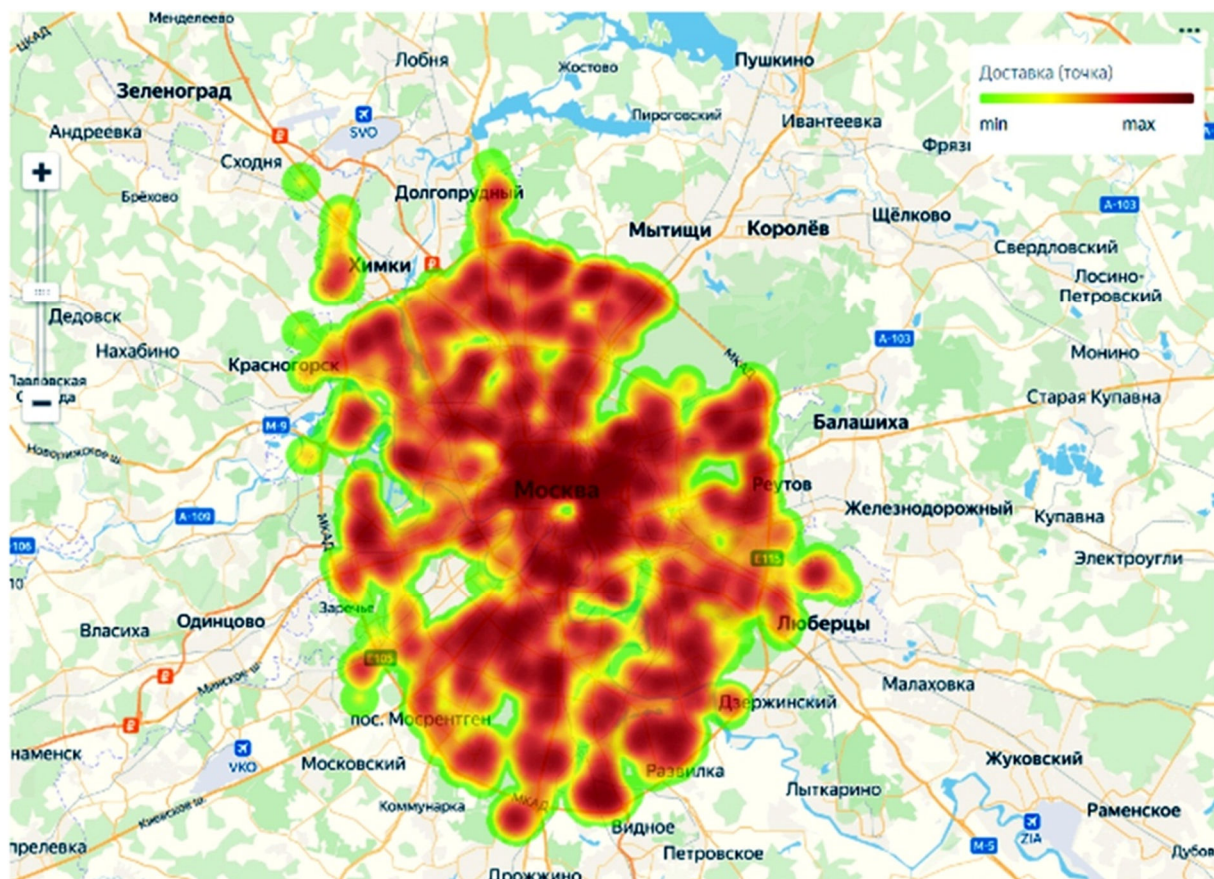


Рисунок 2 – Тепловая карта Yandex DataLens [3]

Тепловая карта является актуальным методом представления больших объемов данных. Окрашивание местности помогает пользователю оценить данные визуально, при этом, не перегружая общий интерфейс. Альтернативным вариантом является использование фоновой карты. Отличие фоновой карты от тепловой заключается

в том, что местность разбивается на мелкие части, которые имеют чёткие границы [4]. На рисунке 3 представлен пример фоновой карты.

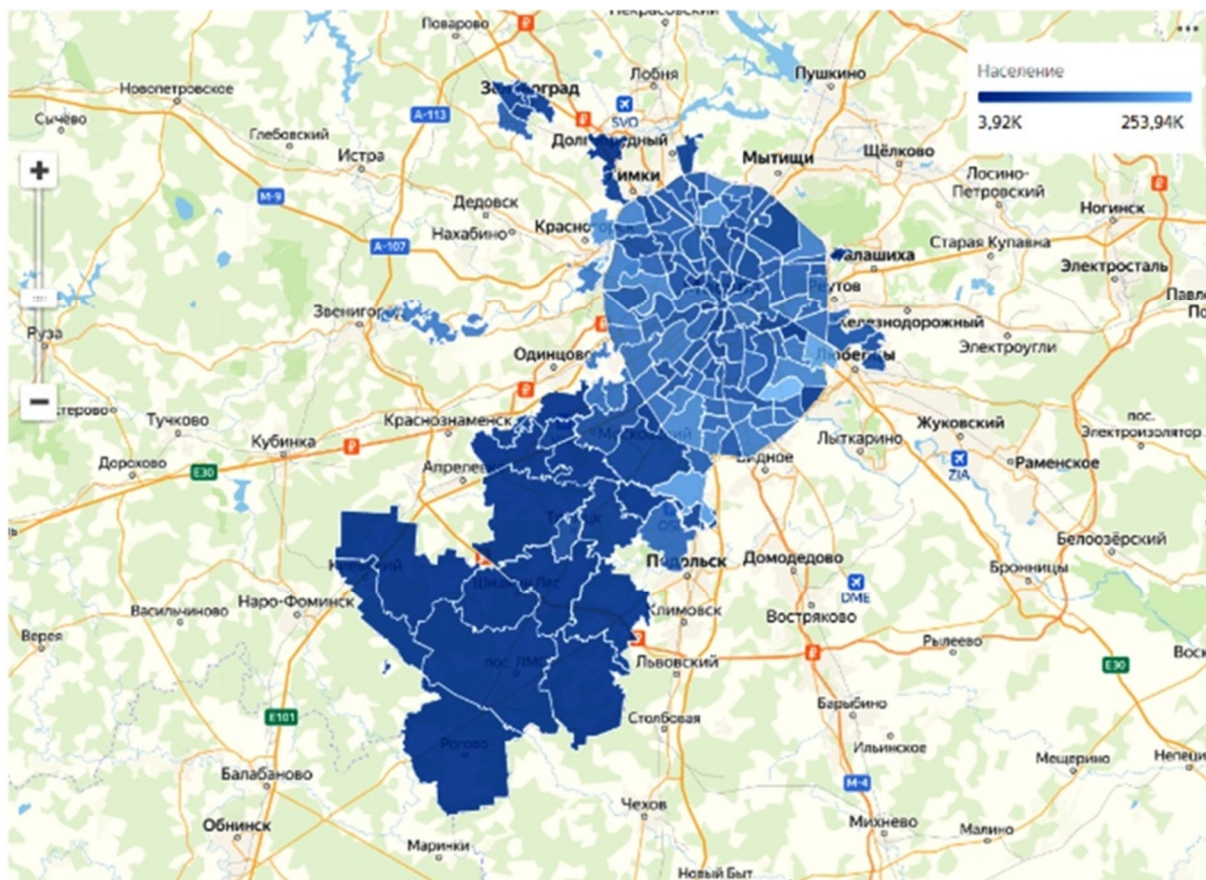


Рисунок 3 – Фоновая карта Yandex DataLens [4]

Следует отметить, что в сервисах Яндекс отсутствует возможность выбора алгоритма кластеризации. Алгоритмы сильно влияют на количество кластеров и их размеры, что может повлиять на общий визуальный анализ данных. К популярным алгоритмам кластеризации относятся [1]:

- Метод К средних (k-means).
- Выделение компонент связности.
- Минимальное остовное дерево.
- DBSCAN.

Однако следует напомнить, что сервисы Яндекс имеют свои ограничения и условия использования. К примеру, в сервисе Яндекс Карты существуют ограничения по количеству запросов в сутки к JavaScript API – не более 25000 запросов в сутки. В случае превышения данного лимита необходимо переходить на платный тариф использования Яндекс Карт. Так же должен быть получен API-ключ для работы с бесплатной версией.

Для использования сервисом Yandex DataLens необходимо на платформе Yandex Cloud. Существуют общие ограничения для работы с датасетами в Yandex DataLens:

- Максимальный размер CSV-файла – 200 МБ.
- Максимальное количество таблиц в одном датасете – 32.
- Максимальное количество полей в одном датасете – 1200.

Также сами геокарты сервиса имеют свои ограничения по количеству отображаемых данных:

- Для точечной карты – 40000 строк.
- Для точечной карты с кластеризацией – 40000 точек.
- Для фоновой карты – 40000 строк.
- Для тепловой карты – 40000 строк.

При не соблюдении данных ограничений геокарты не будут построены для представления датасета. Если изначальный датасет превышает заданные ограничения по размеру, то есть возможность применения фильтров для отображения только определенной части данных.

Таким образом, можно сказать, что метод кластеризации, тепловые и фоновые карты являются актуальными инструментами для визуализации данных. Их функционал позволяет спокойно масштабировать информацию на карте, не ожидая перегруженности интерфейса пользователя. Однако, как сами сервисы Яндекса имеют свои правила использования и ограничения, так и геокарты с вышеупомянутыми инструментами визуализации имеют ограничения на размерность датасетов. Также следует понимать, что при увеличении датасета будет увеличиваться время вычислений и отображения выбранного сервиса.

Список литературы:

1. Кластеризация // Академия Яндекса. – URL : <https://academy.yandex.ru/handbook/ml/article/klasterizaciya>
2. Создание кластеризатора – Технологии Яндекса // Яндекс Карты. – URL : https://yandex.ru/dev/maps/jsbox/2.1/clusterer_create/
3. Yandex Cloud документация – Тепловая карта // Яндекс Облако. – URL : <https://cloud.yandex.ru/docs/datalens/visualization-ref/heat-map-chart>
4. Yandex Cloud документация – Фоновая карта // Яндекс Облако. – URL : <https://cloud.yandex.ru/docs/datalens/visualization-ref/choropleth-map-chart>

УДК 004.4'2

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАТТЕРНОВ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МИКРОСЕРВИСНОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ И СУБД

Волобуев
Игорь Константинович

Национальный исследовательский университет ИТМО
аспирант
riko3144@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена обзору практики применения структурных паттернов в разработке микросервисных веб-приложений. Рассматриваемый программный продукт реализован на языке программирования Go и взаимодействует с системой управления базой данных PostgreSQL. Решение задачи, которая исследуется в статье, акцентируется на программной реализации их взаимодействия.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, веб-приложения, структурные паттерны, SQL, PostgreSQL, Golang

Рассматриваемый в статье программный проект представляет собой микросервис, являющийся частью серверного веб-приложения, спроектированного в соответствии с принципами проектирования микросервисной архитектуры [1, с. 37–46]. Само исследуемое веб-приложение нацелено на цифровизацию и автоматизацию бизнес-процессов на предприятиях сферы агропромышленного комплекса, выполняющих задачи приёмки, хранения и подработки зерновых культур.

Данный микросервис покрывает только часть от общего спектра функциональных возможностей веб-приложения, а именно отвечает за задачи по ведению цифрового учёта приёмки и отправки зерновых культур. Непосредственно во время процесса приёмки груза на базе элеватора, информация порционно поступает в микросервис из источника, которым может выступать, например, IP-камера, весы, другой микросервис или же пользователь, занося данные через клиентское приложение. Сервису необходимо сохранить полученные данные для дальнейшего их использования в интересах бизнеса. Исходя из поставленных требований – микросервис должен представлять собой приложение на языке программирования, поддерживающего сетевое взаимодействие, и хранилище данных.

Решение технической задачи обеспечения связи между приложением и базой данных в проекте будет рассмотрено далее. Для представления информации из хранилища в бизнес-приложении используется структурный паттерн «Репозиторий» и отображение модели предметной области. «Репозиторий» представляет собой интерфейс взаимодействия с хранилищем данным непосредственно в приложении. Это позволяет бизнес-логике абстрагироваться от типа самого хранилища. Информация может храниться в любом формате: SQL или NoSQL базах данных, Excel-документах или в сериализованном виде в бинарных файлах. Поэтому, для взаимодействия бизнес-логики с репозиторием это не является важным фактором, и в качестве результата бизнес-логика получает объект, представляющий запись из хранилища [2, с. 53–74].

Программная логика работы репозитория с хранилищем данных описывается в имплементации, написанной в соответствии с декларируемым интерфейсом. Реализация репозитория для SQL или NoSQL баз данных будет содержать запросы на соответствующих языках запросов. Для Excel функционал будет представлять собой работу с документами данного типа.

На рисунке 1 представлена UML-схема примера реализации вышеописанного паттерна.

В качестве такого хранилища было принято решение использовать реляционную СУБД PostgreSQL. Данный тип баз данных представляет хранимые записи в виде таблиц, связанных между друг другом отношениями, а также включая в себя поддержку транзакций и принципов ACID. PostgreSQL, как продукт реализующий данную концепцию, удовлетворяет требованиям проекта к хранению и манипулированию данными. [3]

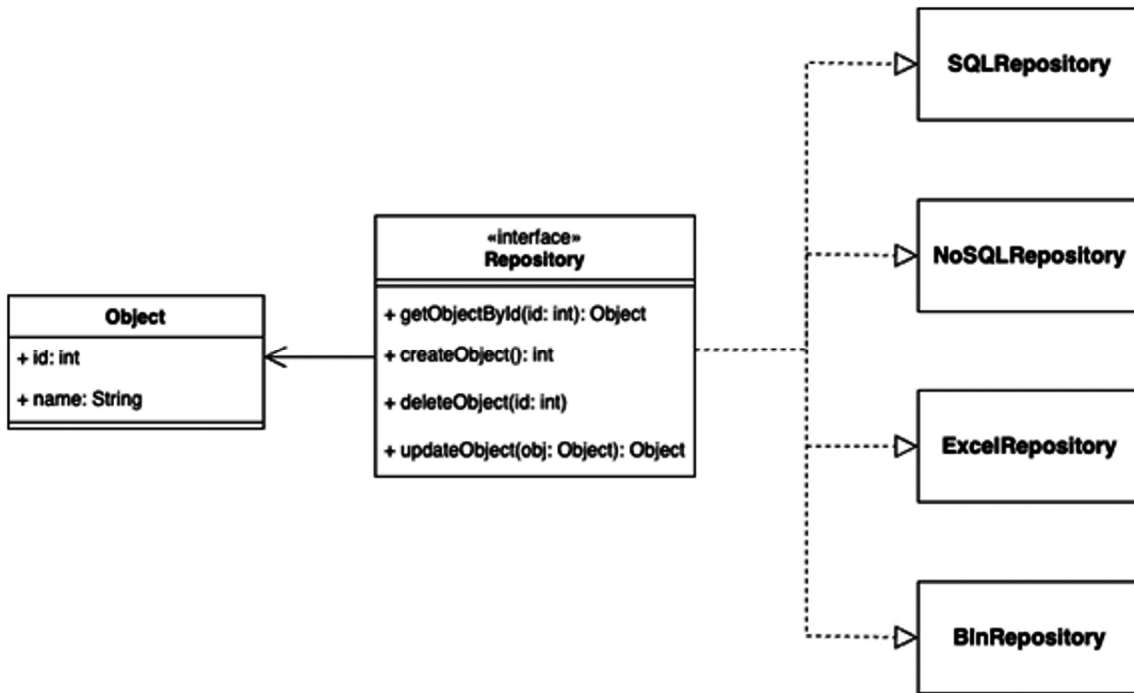


Рисунок 1 – UML-диаграмма проектирования паттерна «Репозиторий»

Разработка микросервисного приложения осуществляется при помощи инструментария языка программирования Go. Его базовый набор библиотек включает в себя необходимый минимум для разработки веб-приложений – «http», для реализации серверной части, и «sql», для обеспечения взаимодействия с реляционной базой данных. [4]

Ниже на рисунке 2 представлен программный код, в котором реализовано подключение к базе данных.

```

34 func initDB(cfg *config.Config) *sql.DB { 1 usage ± Rikanskey *
35     dbInfo := fmt.Sprintf( format: "postgresql://%s:%s@postgres/%s?sslmode=disable",
36         cfg.Postgres.Username, cfg.Postgres.Password, cfg.Postgres.Name)
37     db, err := sql.Open( driverName: "postgres", dbInfo)
38
39     if err != nil {
40         fmt.Println( a...: "DB err")
41     }
42     err = db.Ping()
43     if err != nil {
44         logrus.WithError(err).Println( args...: "No connection")
45     }
46     defer db.Close()
47     return db
48 }
  
```

Рисунок 2 – Инициализация подключения к базе данных

Для обеспечения связи необходимо создать объект взаимодействия с самой базой данных при помощи функции «Open» из библиотеки «sql». На вход функция принимает адрес, по которому в вышеописанном примере развернута СУБД с указанием данных для доступа к ней, а также драйвер используемой СУБД. После проверки на возможные ошибки, также нужно предусмотреть в коде закрытие соединения с базой в виде отложенной функции в случае завершения программы. В качестве результата функция возвращает ссылку на объект для дальнейших манипуляций с базой данных.

Далее, на рисунке 3 продемонстрирована реализация SQL-репозитория.

В качестве поля в структуре данных, представляющей репозиторий, находится ссылка на ранее созданный объект базы данных. Он же передается в функцию инициализации

зации репозитория. Сам репозиторий предназначен для работы с конкретной сущностью в базе. Соответственно в качестве результата функции чтения и обновления данных будут возвращать объект, описанный в модели предметной области для этой сущности.

На рисунке 4 показан пример описания записей из базы данных.


```
19  type ConsignmentRepository struct { 11 usages  ⚡ Rikanskey
20     consignments *sql.DB
21 }
22
23 func NewConsignmentRepository(db *sql.DB) *ConsignmentRepository {
24     return &ConsignmentRepository{consignments: db}
25 }
```

Рисунок 3 – Реализация репозитория

```
8
9 type part struct { 7 usages
10     Id uint `db:"id"`
11     Name string `db:"name"`
12 }
```

Рисунок 4 – Модель данных для сущности «Part»

Описание структуры состоит из следующих элементов: наименование поля, его тип данных и структурная аннотация. Аннотация представляет собой текстовый тег поля, использующийся инструментами рефлексии для сопоставления наименования поля из сущности базы данных, которое указывается в строке тега, с соответствующем ей полем в структуре данных [5, с. 343–354].

Список литературы:

1. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. – СПб. : Питер, 2019. – 544 с.
2. Гарри П., Боб Г. Паттерны разработки на Python: TDD, DDD и событийно-ориентированная архитектура. – СПб. : Питер, 2022. – 336 с.
3. PostgreSQL. Документация. PostgreSQL 16. Что такое PostgreSQL? [Электронный ресурс]. – URL : <https://postgrespro.ru/docs/postgresql/16/intro-what-is>
4. Pkg.Go Dev. Официальная документация. Стандартная библиотека. SQL. [Электронный ресурс]. – URL : <https://pkg.go.dev/database/sql@go1.21.4>
5. Батчер М., Фарина М. Go на практике. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 374 с.

УДК 004.9

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОРГАНИЗАЦИИ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СОВРЕМЕННЫХ REACT ПРИЛОЖЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ REST API И GRAPHQL)

Кожанов
Павел Сергеевич

Национальный исследовательский университет ИТМО
магистрант
PKozhanov99@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые подходы к организации клиент-серверного взаимодействия в современных веб приложениях на примере архитектурных подходов REST API и GraphQL. Рассмотрены отечественные и зарубежные исследования в области пользовательского взаимодействия с сервером для получения данных, выявлены достоинства и недостатки REST API и GraphQL для построения клиент-серверной архитектуры, описывающей поведение интерфейса при создании запросов к базам данных; сформированы показатели эффективности данных подходов.

Ключевые слова: клиент-серверное взаимодействие, REST API, GraphQL, веб-страница, архитектура, эффективность.

Клиент-серверное взаимодействие является важнейшим аспектом в разработке программного обеспечения, поэтому важно правильно выбрать подход для его организации. Главная его цель – позволить пользователям с помощью средств программного обеспечения осуществлять взаимодействие с другими пользователями или удаленными ресурсами, что полностью основано на парадигме «запрос-ответ».

Изучением вопросов организации клиент-серверного взаимодействия занимались многие отечественные и зарубежные ученые и практики.

Так, В.Н. Гридин, В.И. Анисимов и С.А. Васильев утверждают, что главной отличительной особенностью GraphQL в сравнении с REST является наличие возможности обеспечения ответа на запросы с подзапросами «за счет их рекурсивной обработки с учетом возможности добавления аргументов в самих запросах» [1]. Также авторы выделяют преимущество GraphQL в части мутации данных для обеспечения всех CRUD (Create, Read, Update, Delete) в рамках одного эндпоинта. В целом, данный подход позволяет отказаться от использования state management на клиентской стороне в SPA.

К такому же выводу приходят С.Э. Шмаков, Н.Н. Смекалин и Е.В. Щенникова [2]. Они утверждают, что технология GraphQL позволяет сделать только один запрос вместо множества мелких запросов и выбрать только те возвращаемые данные, которые необходимы для клиентской стороны. Кроме того, он содержит в себе встроенный кэш (cache), что позволяет возвращать данные порционно, т.е. не запрашивать те данные, которые уже есть.

В работе М. Miłuta и М. Dzieńkowski [3] авторами разработаны два тестовых приложения, содержащих одинаковые функциональные возможности, в основе одного из них был REST, в другом – GraphQL. Так, во время работы дисплея в условиях большой нагрузки и при загрузке небольших порций данных, сервис, использующий GraphQL, имел лучшую производительность. При загрузке больших объемов данных служба на базе REST демонстрировала более высокую производительность.

К такому же выводу пришли Р. Margański, В. Pańczyk, которые представили сравнительный анализ двух наиболее часто используемых стандартов веб-дизайна API – REST и GraphQL [4]. Были протестированы время и размер HTTP-ответов, возвращаемых приложениями. Для анализа были использованы два приложения с одинаковыми функциональными возможностями, выполняющие операции CRUD с данными, хранящимися в базе данных MongoDB.

В Университете ИТМО в настоящее время проводится исследование оценки влияния выбора архитектурного подхода к организации клиент-серверного взаимодей-

ствия на производительность современных веб-приложений и сервисов, проведены эксперименты, подтверждающие сильные и слабые стороны обоих подходов.

Предположим, в веб-приложении пользователю необходимо получить данные о каком-либо персонаже. Сформируем GET-запрос `https://swapi.dev/api/people/1/` с использованием SWAPI. В качестве ответа пользователь получает данные в формате JSON (см. рис. 1).

```
{
  "name": "Luke Skywalker",
  "height": "172",
  "mass": "77",
  "hair_color": "blond",
  "skin_color": "fair",
  "eye_color": "blue",
  "birth_year": "198BY",
  "gender": "male",
  "homeworld": "https://swapi.dev/api/planets/1/",
  "films": [
    "https://swapi.dev/api/films/1/",
    "https://swapi.dev/api/films/2/",
    "https://swapi.dev/api/films/3/",
    "https://swapi.dev/api/films/6/"
  ],
  "species": [],
  "vehicles": [
    "https://swapi.dev/api/vehicles/14/",
    "https://swapi.dev/api/vehicles/30/"
  ],
}
```

Рисунок 1 – Ответ в формате JSON на запрос `api/people/1/`

Данный ответ представляет собой большую структуру данных, которые являются лишними для нашего приложения. Предположим, что пользователю необходима была информация только о имени, весе и росте человека. В таком случае бэкенд присылает чрезмерную выборку данных, которые не используются в интерфейсе. В данном случае проблему `over-fetching` решает GraphQL (в примерах, представленных ниже, будет использован интерфейс `https://swapi-graphql.netlify.app/` для тестирования запросов).

В данном случае, GraphQL-запрос и ответ будут выглядеть следующим образом (см. рис. 2).



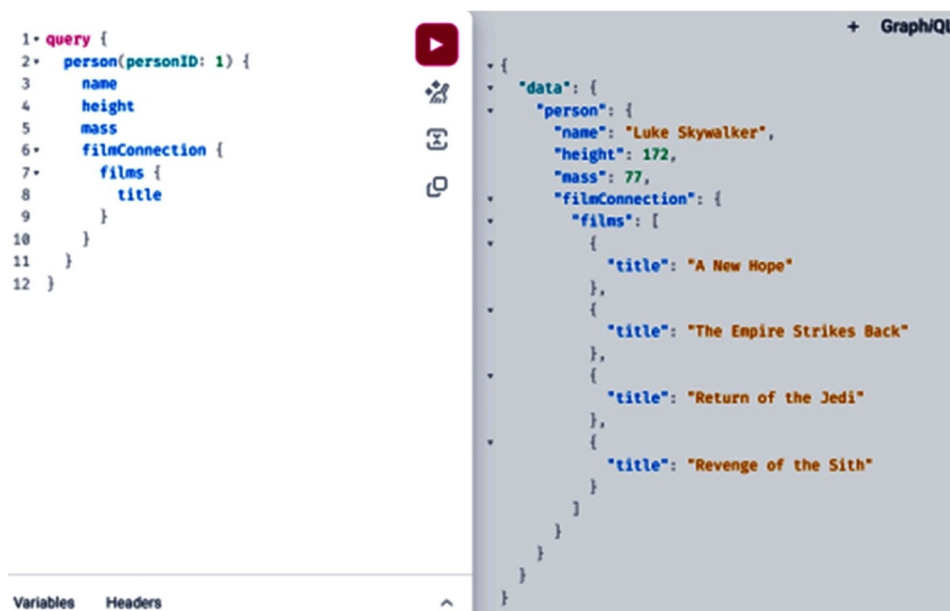
```
1 query {
2   person(personID: 1) {
3     name
4     height
5     mass
6   }
7 }
```

```
{
  "data": {
    "person": {
      "name": "Luke Skywalker",
      "height": 172,
      "mass": 77
    }
  }
}
```

Рисунок 2 – Пример GraphQL запроса на получение персонажа

Как видно из рисунка, были запрошены только те поля, которые нужны. Ответ приходит в формате JSON, содержащий на этот раз данные без 13 лишних полей. Происходит запрос данных в определенной форме, и в такой же форме мы получаем их обратно. Данный декларативный стиль позволяет получить информацию намного быстрее, учитывая, что посторонние данные не извлекаются. Как результат – исключается риск для пользователя вообще не увидеть данные при низкоскоростном подключении [5].

Повторим пример, когда необходимо запрашивать фильмы, в которых снимался данный персонаж. Как было указано выше, с использованием REST нам бы пришлось делать пять дополнительных запросов, однако GraphQL – это технология, которая позволяет определять и вложенные запросы. Таким образом, на рисунке 3 представлен запрос-ответ на вышеуказанный пример. С использованием данного подхода клиенты избавились от необходимости осуществлять дополнительные запросы, что в значительной степени снижает нагрузку на приложение в целом.



The image shows a GraphQL query editor on the left and its corresponding JSON response on the right. The query is:

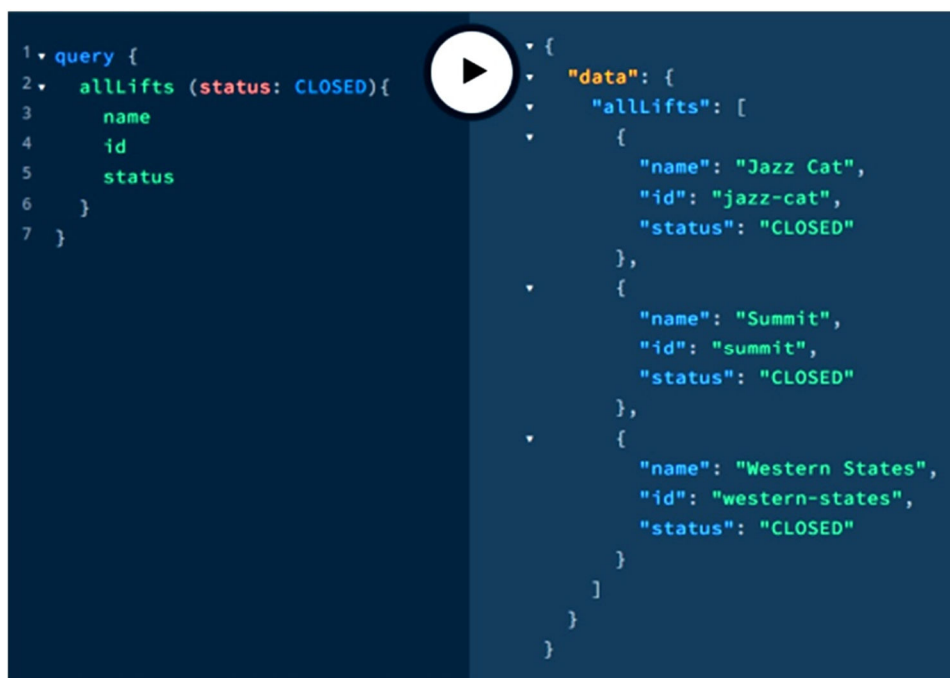
```
1 query {
2   person(personID: 1) {
3     name
4     height
5     mass
6     filmConnection {
7       films {
8         title
9       }
10    }
11  }
12 }
```

The response is a JSON object:

```
{
  "data": {
    "person": {
      "name": "Luke Skywalker",
      "height": 172,
      "mass": 77,
      "filmConnection": {
        "films": [
          {
            "title": "A New Hope"
          },
          {
            "title": "The Empire Strikes Back"
          },
          {
            "title": "Return of the Jedi"
          },
          {
            "title": "Revenge of the Sith"
          }
        ]
      }
    }
  }
}
```

Рисунок 3 – Подключение к фильмам

Однако GraphQL поддерживает не только чтение данных. Мутации (Mutation) используются для того, что записать новые данные (добавить, обновить или удалить). По сути, они выполняют некоторое изменение данных, которое влияет на состояние исходников. Сделаем запрос на получение данных о состоянии всех лифтов в комплексе, у которых состояние status = CLOSED (см. рис. 4).



The image shows a GraphQL query editor on the left and its corresponding JSON response on the right. The query is:

```
1 query {
2   allLifts (status: CLOSED){
3     name
4     id
5     status
6   }
7 }
```

The response is a JSON object:

```
{
  "data": {
    "allLifts": [
      {
        "name": "Jazz Cat",
        "id": "jazz-cat",
        "status": "CLOSED"
      },
      {
        "name": "Summit",
        "id": "summit",
        "status": "CLOSED"
      },
      {
        "name": "Western States",
        "id": "western-states",
        "status": "CLOSED"
      }
    ]
  }
}
```

Рисунок 4 – Запрос всех лифтов с состоянием status: CLOSED

Последний тип операций, доступный с помощью GraphQL – это подписка. Бывают случаи, когда клиент хочет получать данные об обновлении в реальном времени с сервера. Подписка в данном случае позволяет перехватывать события API GraphQL для изменения данных в реальном времени (см. рис. 5). По своей сути она напоминает WebSocket. Изменения, которые могут отслеживать клиенты, определяются в схеме API как поля с типом subscription.



Рисунок 5 – Мутация на изменение статуса лифта с id: «summit»

Таким образом, можно утверждать, что ключевыми преимуществами подхода REST являются:

- Легкость в освоении: REST API используют простые HTTP-методы, которые легко понять и реализовать.
- Существующая инфраструктура: Архитектура REST основана на HTTP и использует существующую веб-инфраструктуру, такую как кэширование и протоколы безопасности.
- Широкая совместимость: REST API широко поддерживаются на различных платформах, что упрощает разработчикам внедрение и использование.

В результате анализа анатомии GraphQL-запросов, а также практических примеров, можно утверждать, что ключевыми преимуществами данного подхода являются:

- Высокая производительность: GraphQL сокращает количество обращений туда и обратно, необходимых для получения данных, позволяя клиентам запрашивать только те данные, которые им нужны;
- Гибкий поиск данных: С помощью GraphQL клиенты могут извлекать все связанные данные в одном запросе, в отличие от выполнения нескольких запросов RESTful API для каждого ресурса;
- Упрощенное управление версиями: GraphQL обеспечивает обратную совместимость благодаря своей строгой системе типов, которая позволяет поддерживать обратную совместимость без внесения критических изменений.

Главные недостатки обоих подходов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Недостатки архитектурных подходов REST и GraphQL

Недостатки REST API	Недостатки GraphQL
Наличие нескольких конечных точек API [6]	Проблема вложенных запросов
Нет собственного языка запросов, который мог бы ему контролировать, какие именно данные возвращает сервер	Написание большого количества дополнительного кода, который должен быть синхронизирован с актуальными сущностями
Сильная зависимость от поставщика данных, что приводит к невозможности его независимо развертывания	Необходимость написания дополнительной логики по поиску нужного обработчика
Трудности с поддержкой версий, ведь поддерживать несколько версий означает создавать новые конечные точки	Неспособность запросов кэшироваться стандартными средствами браузера, т.к. браузер кэширует исключительно GET-запросы
Идентификация ресурса через URL [8]	

И.В. Кужелев в своей статье дает четкие сходства и различия описываемых подходов [7].

Любое сравнение предполагает наличие четко определенных критериев, позволяющих описать эффективность/неэффективность альтернативных подходов. Среди таких критериев были выявлены следующие: критерий «Извлечение данных», критерий «Производительность», критерий «Масштабируемость», критерий «Организация кода», критерий «Инструментарий», критерий «Обработка ошибок», критерий «Безопасность», критерий «Кэширование».

Список литературы:

1. Гридин В.Н., Анисимов В.И., Васильев С.А. Методы повышения производительности современных веб-приложений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – С. 193–200. – URL : <https://clck.ru/333334>
2. Шмаков С.Э., Смекалин Н.Н., Щенникова Е.В. Создание web-приложения с использованием сторонних API // материалы научной конференции XLIX Огарёвские чтения / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. – Саранск, 07–13 декабря 2020 года. – С. 668–671. – URL : <https://clck.ru/333376>
3. Mikuła M., Dzieńkowski M. Comparison of REST and GraphQL web technology performance // Journal Computer Science Institute. – 2020. – URL : <https://clck.ru/32vGT8>
4. Margański P., Pańczyk B. REST and GraphQL comparative analysis // Journal Computer Science Institute. – 2021. – URL : <https://clck.ru/32vGPJ>
5. Ананченко И.В., Чуриков Е.А. Оптимизация http-запросов с помощью перехода с REST API на GraphQL // Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза, 25 сентября 2022 г. – С. 11–14. – URL : <https://clck.ru/3332yt>
6. Тонкушин М.В., Гудков К.В. Сравнительный анализ технологий GraphQL и REST // Современные информационные технологии. – 2019. – Т. 29. – С. 127–131. – URL : <https://clck.ru/3332RH>
7. Кужелев И.В. Декларативный язык запросов GraphQL в сравнении с REST // Сборник трудов XIX Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Южный федеральный университет. – Таганрог, 9–11 декабря 2021. – С. 240–243. – URL : <https://clck.ru/3333h6>
8. Ghebremicael E.S. Transformation of REST API to GraphQL for OpenTOSCA // INFOTECH. – 2017. – URL : <https://clck.ru/32vGXM>

УДК 004

СНИЖЕНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИЗ-ЗА СУЩЕСТВУЮЩИХ РАЗНОЧТЕНИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНАХ**Крючков
Алексей Вячеславович****Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина**
кандидат технических наук, доцент
hook66@list.ru

Аннотация. Важными задачами в нефтегазовой отрасли являются внедрение новых информационных технологий (ИТ), в частности цифровых двойников, и проведение импортозамещения. Перспективы применения новых ИТ ориентированы не только на моделирование с их помощью важных элементов производственной и управленческой деятельности, но и на накопление опыта и цифровизацию получаемых при этом знаний. Вместе с тем, существующая как в мире в целом, так и в Российской Федерации в частности, система терминов и определений, в том числе закреплённая в нормативной базе, позволяет делать это только в ограниченных масштабах. Для достижения большего эффекта следует выполнить ряд мероприятий на отраслевом и государственном уровне.

Ключевые слова: информационные технологии, нормативная база, автоматизированные системы управления предприятиями, объекты топливно-энергетического комплекса, семантические гнезда, когнитивная лингвистика, цифровизация знаний.

Развитие промышленности и технологии ставит перед объектами топливно-энергетического комплекса (ТЭК) новые задачи. Конкуренция на освоенных рынках сбыта продукции становится более жёсткой. Это требует от их менеджмента постоянного пересмотра правил ведения внутренних процессов как управления, так и технологии. Наиболее значимые результаты достигаются в этом направлении при применении информационных технологий (ИТ).

Возникающие в связи с этим более жёсткие по времени и качеству продукции требования к ведению бизнеса требуют от компаний внедрения новых или доработки уже используемых ими ИТ. Термином Digital Twins (DT, [1]) принято называть новое поколение применяемого в автоматизированных системах управления предприятиями (АСУП) или технологическими процессами (АСУТП) программного обеспечения (ПО), используемого для как моделирования производственных процессов, так и для создания настольных приложений ([2], п. 470). Ранее для последнего понятия в нормативной базе использовался термин специальное ПО (СПО, [3], п. 6.3).

Среди преимуществ применения DT следует выделить возможность проведения сложных расчётов, связанных с различными режимами работы объектов ТЭК в различных ситуациях в реальном масштабе времени. Среди таких расчётов могут встречаться как моделирование строительства новых цехов, так и анализ последствий возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Платформы DT предоставляют возможность моделирования условий сбыта продукции и загрузки мощностей объекта.

Среди недостатков следует отметить прежде всего масштабные инвестиции в средства обеспечения, а также изменения в процессах принятия решений на ряде уровней, в том числе оперативного управления производственными процессами. Установка большого числа датчиков требует устойчивой работы линий связи для передачи данных, а также значительно больших затрат на поддержание этого оборудования в исправном состоянии. Несмотря на высокую стоимость DT (внедрение таких платформ ПО могут себе позволить только довольно крупные объекты), общие направления деятельности объектов ТЭК в области ИТ сейчас становятся ориентированными именно на них.

Широкое применение ИТ началось давно, что вызвало необходимость написания обширной нормативной базы (НБ), в которой для прояснения сути дела вводились различные термины и определения. Разработанная до развала СССР НБ обеспечивала работу с ИТ нужной терминологией, что позволяло во многих случаях эффективно создавать СПО на предыдущих поколениях инструментов программирования. Основной упор в НБ того поколения делался на автоматизацию и управление. С наступлением перемен в экономике стала меняться и НБ. Работа в этом направлении велась различными отечественными организациями с учётом адаптации большого количества разработанных за рубежом международных стандартов, многие из которых ориентировались на очередное направление «IT-main stream¹».

Ввиду того, что субъект управления отраслью ИТ как в СССР, так и в РФ не был сформирован², эта работа была бессистемной, что привело к тому, что в РФ в настоящее время созданы и применяются более 2500 ГОСТов по ИТ. При этом несколько сотен из них имеют либо приставку в названии, либо раздел, озаглавленный как «Термины и определения».

Физическая ограниченность естественного языка, не предназначенного в момент его нормализации к бурному развитию техники и технологии, и бессистемность введения новых документов в НБ РФ привели к тому, что одни те же слова естественного языка использовались различными готовившим ГОСТы и иные нормативные документы людьми для различных понятий или разные слова для одних и тех же понятий. В ряде случаев одинаковые или близкие по значению термины, для использования которых вводились одинаковые слова естественного языка, имели различное или сходное, но неодинаковое значение.

Наиболее ярким примером этого является определение ИТ в [5–7], а также в ряде других документов. Помимо этого, для ИТ довольно долго применялись термины «информационно-коммуникационные»³ и «информационно-телекоммуникационные технологии»⁴ (ИКТ и ИТТ соответственно). Различия данных определений приводят к включению или исключению в семантический смысл данного термина разделов математики, средств связи и средств вычислительной техники⁵ (СВТ). Для применения на уровне небольших организаций различия в определениях не дают существенных изменений в деятельности работающих по данным направлениям сотрудников, но на уровне управления многими организациями и при организации их взаимодействия такие «мелочи» становятся определяющими.

Другим примером может служить название процесса применения ИТ на объектах ТЭК. Ранее (до 2008 г.) его принято было называть «автоматизацией». Простое и понятное всем определение: «применение энергии неживой природы в технологическом процессе, обеспечивающее исключение участия людей в выполнении процесса и

¹ IT-main stream – главное направление развития ИТ. В 1990–2000 гг. «Появление удобных и высокоэффективных инструментов обеспечило высокую скорость компьютерных сетей и стремительный рост Всемирной паутины» ([4]), XML – как универсальный инструмент перевода знаний в цифровой вид. В 2000 – 2010 гг. «появились многоядерные процессоры... были реализованы 64-битные операции» ([4]), возникли социальные сети, стали широко применяться интегрированные системы автоматизации, CALS, PLM, UML и т.п. В 2010 – 2020 гг. в ИТ стали активно использовать «облачные технологии, искусственный интеллект и квантовые компьютеры» ([4]), ERP и т.п.

² Государственный комитет СССР по вычислительной технике и информатике был образован 21 марта 1986 года в соответствии с указом Президиум Верховного Совета и упразднён в 1988 году М.С. Горбачёвым в рамках инициации борьбы с бюрократией. Комитет присоединили к Министерству связи, где он постепенно исчез.

³ ГОСТ Р 52653-2006, Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Термины и определения. – М. : Стандартиформ, 2007. – 8 с. (п. 3.1.5)

⁴ Этот термин неоднократно употреблялся в РФ в течение 15 лет после 2000 г. вместо ИТ, но так и не был определён в НБ

⁵ СВТ – данный термин не определен ни в [5–7], ни в ряде других документах, что затрудняет его применение. Определение СВТ как систем, используемых как самостоятельно, так и в составе других систем (НБ по защите информации), по сути не имеет отношения ни к ИТ, ни к устройствам, их использующим.

управления им» ([8], п. 6) было заменено на «внедрение автоматических средств для реализации процессов» и систему «мероприятий, направленных на повышение производительности труда человека посредством замены части этого труда работой машин.» ([9], п. 4.14). При этом для производства (в том числе для нефтегазовой отрасли) название данного процесса формулируется как «применение ЭВМ в управлении производственными процессами» ([9], п. 4.16).

После 2008 года и вплоть до 2019 года процессы применения ИТ стали называть информатизацией. Единственное его определение в НБ дано в [6] (п. 3.1.26) и связано с оперативным доступом к информационным ресурсам.

В настоящее время для применения ИТ используют термин «цифровизация». Хотя его точного определения в РФ пока нет¹, его активно используют и продвигают как бренд наряду с «цифровой трансформацией», которую не только понимают по-разному, но и активно продают.

Даже выполненное выше краткое рассмотрение некоторых базовых терминов и их определений показывает насколько неоднозначно понимаемой может быть деятельность в области ИТ. На уровне отдельных платформ DT терминология становится ещё более неопределённой. Она годится для частного применения в каждом отдельном случае, но не для обобщения и накопления вкладываемого в применяемые модели опыта, получаемого отдельными объектами ТЭК. Масштабные инвестиции, сделанные ими в DT, могут принести отраслевой синергетический эффект только при устранении этого терминологического диссонанса.

Подобное явление наблюдается не только в РФ. После решения проблемы 2000 года международное ИТ-сообщество стало активно использовать новую на тот момент платформу – XML² – для первой волны цифровизации знаний. Считалось, что этот язык будет идеальным средством для этого. Но скоро выяснилось, что многозначные слова в языках разных стран, используемые для обозначения разных понятий, иногда несовместимых друг с другом, не могут нести на себе одинаковую смысловую нагрузку, и процесс цифровизации знаний резко затормозился. Это дало новый толчок развитию когнитивной лингвистики, который увёл активистов цифровизации знаний несколько в сторону – к семантическим деревьям и нейронным сетям. Но проблема несовместимости различных семантических гнезд, использующих одинаковые вербальные воплощения в различных областях человеческой деятельности осталась не озвученной и нерешённой.

Всё сказанное выше ставит перед руководителями объектов ТЭК как минимум два важных вопроса. Первый – формирование в РФ органа (субъекта управления), заинтересованного в реальной систематической и многолетней работе по устранению такого положения дел. Для этого нужны кадры, не только имеющие профильное образование, но и работающие в области ИТ не один десяток лет, а также растущие как в технической, так и в административной области. Условий, которые бы позволили это сделать в РФ сейчас нет. Второй – перспективное формирование под эгидой данного субъекта управления организационного объекта (отраслевого или академического института), работающего над созданием технического варианта естественного языка с учётом современных достижений когнитивной лингвистики, который бы позволил осуществить реальную цифровизацию знаний и широкого применения частного опыта цифрового моделирования на различных объектах ТЭК на разных платформах DT.

Список литературы:

1. Grieves M. and Vickers J. «Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems», *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, In: Kahlen FJ, Flumerfelt S, Alves A (eds) // Springer. – 2017. – P. 85–113.

¹ Определения «цифровизации» и «цифровой трансформации» даны в [10] (п. 3.33 и п. 3.28 соответственно)

² XML (Extensible Markup Language – Расширяемый Язык Разметки) используется как язык создания структур данных с помощью тегов. Рекомендован сообществом W3C как язык разметки общего назначения.

2. ГОСТ 33707-2016, Информационные технологии. Словарь [Электронный ресурс]. – URL : <https://internet-law.ru/gosts/gost/15681?ysclid=ldln0bkpkk55105495>
3. ГОСТ 34.003-90, Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения [Электронный ресурс]. – URL : <https://internet-law.ru/gosts/gost/10673/?ysclid=ldlk7qr8qj653050739>
4. Евгений Рудометов, Тридцать лет развития ИТ [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.it-world.ru/tech/technology/194884.html?ysclid=lomph4lnzi692594459>
5. Федеральный закон № 149-ФЗ от 27 июля 2006 года [Электронный ресурс]. – URL : <https://base.garant.ru/12148555/?ysclid=lomqz8pylq409872291>
6. ГОСТ 7.0-99. Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно-библиотечная деятельность, Библиография. Термины и определения. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 12 с.
7. ГОСТ Р 59853-2021, Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 12 с.
8. ГОСТ 23004-78, Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении. Основные термины, определения и обозначения. – М. : Изд. стандартов, 1978. – 26 с.
9. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015) // Информационные технологии. Словарь. – М. : Стандартиформ, 2016. – 206 с.
10. Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 2583-2020 // Цифровая трансформация. Термины и определения [Электронный ресурс]. – URL : <https://nd.gostinfo.ru/document/6861127.aspx>

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЧИСТОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Ли Цзымин

Национальный исследовательский университет ИТМО

магистрант

pp7777myku@gmail.com

Аннотация. В работе описывается конструкция системы мониторинга чистых помещений на базе микроконтроллера, которая отслеживает перепад давления, температуру, влажность и содержание твердых частиц в чистом помещении, принимает определенные действия и оповещает пользователя об отклонениях от нормы.

Ключевые слова: чистое помещение, микроконтроллер, система мониторинга.

На многих промышленных объектах предъявляются жесткие требования к условиям труда, и для нормальной работы необходимо наличие чистого помещения. ГОСТ Р ИСО 14644-2-2020 указано, что в чистом помещении должна быть предусмотрена возможность непрерывного или периодического мониторинга чистого помещения, а полученные данные могут быть использованы для проверки состояния его работы на предмет соответствия среды требованиям. А при отклонении параметров от нормы следует своевременно проанализировать причину отклонения, принять необходимые меры и предупредить пользователя. Для этого необходимо контролировать характеристики, которые могут влиять на уровень чистоты, такие как перепад давления, равномерность воздушного потока, скорость воздушного потока, эффективность вентиляции, температура, относительная влажность и другие параметры [1].

Поэтому возникает необходимость в разработке системы мониторинга окружающей среды в чистом помещении с целью контроля состояния чистого помещения, которое должно быть ориентировано на стабильность, чувствительность, экономичность и т.д. В данной работе предлагается система на базе STM32, которая может собирать такие данные, как температура, влажность, перепад давления, концентрация твердых частиц и т.д. в чистом помещении, передавать их на сервер для анализа данных и принятия необходимых мер, а также предупреждать пользователя об отклонениях от нормы. На основе данных можно оценить энергоэффективность чистого помещения и повысить ее [2].

По исследованиям S. M. Rana, A. R. Chowdhury, S. H. Talukder и др., в чистом помещении, предназначенном для полупроводниковой промышленности, необходимо поддерживать температуру $22 \pm 2^\circ\text{C}$, относительную влажность 45~50 % и перепад давления 0~50 Па [3], поэтому были выбраны модели датчиков, а блок-схема системы приведена на рисунке 1.

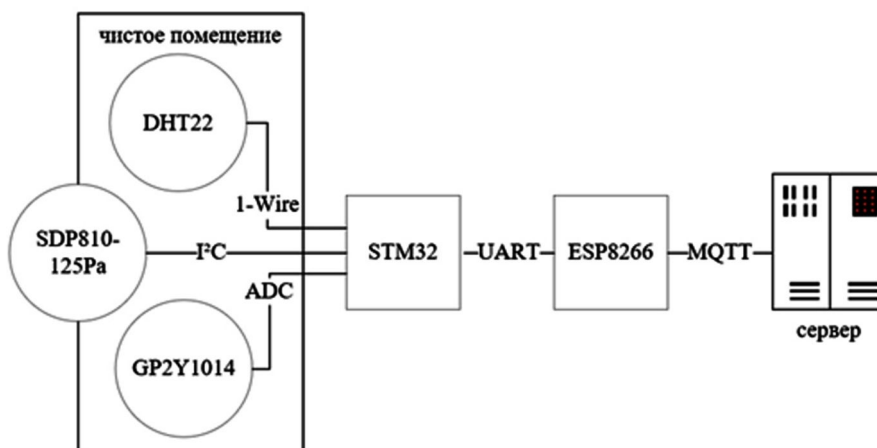


Рисунок 1 – Блок-схема системы

Датчик DHT22, контролирующий влажность с точностью $\pm 2\sim 5\%$, также контролирует температуру при температуре $-40\sim +85\text{ }^{\circ}\text{C}$ с погрешностью менее $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Датчик SDP810-125Pa предназначен для контроля перепада давления вне чистого помещения и измеряет перепад давления воздуха $\pm 125\text{ Па}$ с точностью 3% в диапазоне температур при температуре $-20\sim +85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Датчик GP2Y1014AU0F используется для контроля содержания частиц в воздухе. Микроконтроллер STM32 собирает данные с датчиков и выдает их в виде сообщения через UART. Экспериментальный процесс в основном был выполнен с использованием моделирования в программе Proteus. Принципиальная схема показана на рисунке 2, а пример приема сообщений в формате JSON через интерфейс RS-232 показан на рисунке 3.

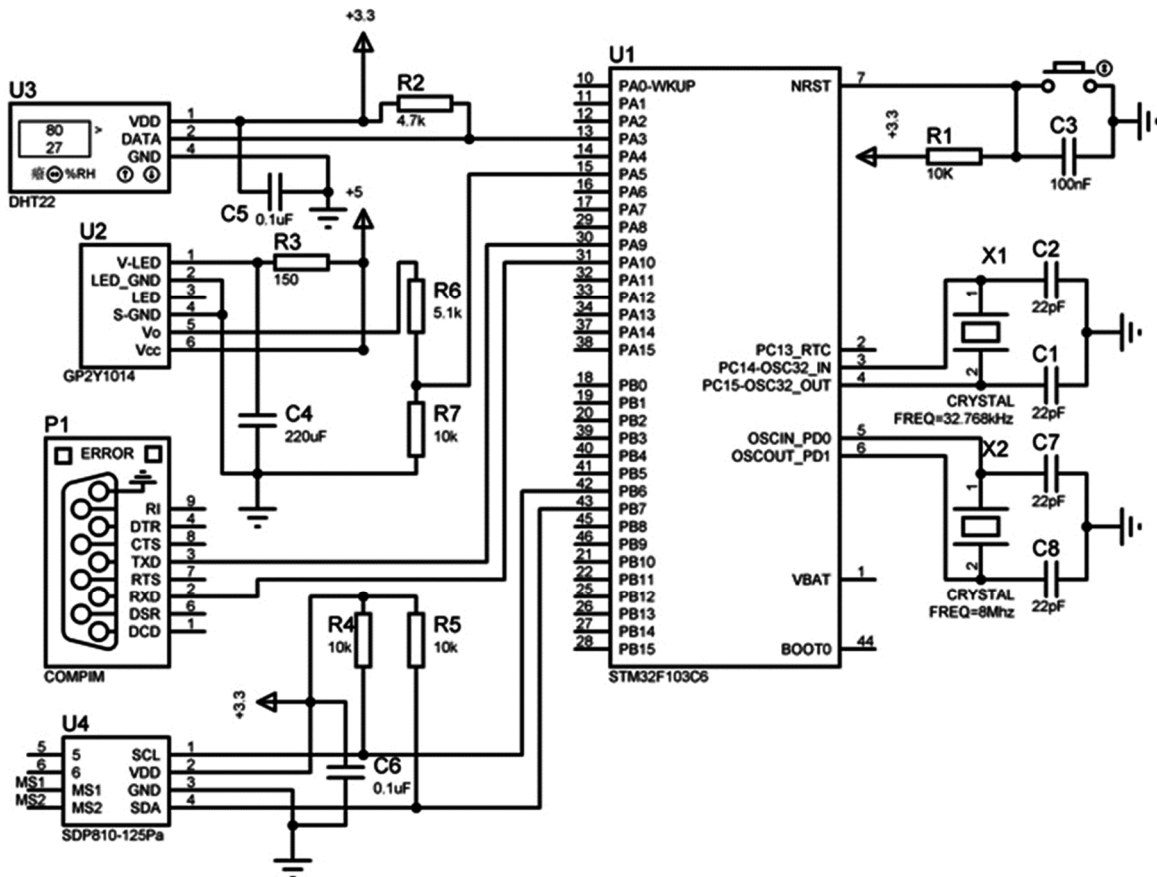


Рисунок 2 – Принципиальная схема

```
[13:00:54.124]收←◆{"message_id": "15090", "device_id": "STM32_Device",
"timestamp": 1699092054, "data": {"temperature": 22.7, "humidity": 41.1,
"adc_value_particulates": 2572, "pressure_difference": 29}}
[13:00:59.184]收←◆{"message_id": "15091", "device_id": "STM32_Device",
"timestamp": 1699092059, "data": {"temperature": 22.7, "humidity": 41.0,
"adc_value_particulates": 2570, "pressure_difference": 30}}
[13:01:04.239]收←◆{"message_id": "15092", "device_id": "STM32_Device",
"timestamp": 1699092064, "data": {"temperature": 22.7, "humidity": 41.2,
"adc_value_particulates": 2587, "pressure_difference": 31}}
```

Рисунок 3 – Тесты отправки сообщений

Микроконтроллер STM32 может быть подключен к такому модулю, как ESP8266, через порт UART, и данные могут быть загружены на сервер по протоколу MQTT, который идеально подходит для легкого обмена сообщениями [4]. В конечном итоге данные хранятся и анализируются на стороне сервера, по ним своевременно принимаются необходимые меры, а в случае аномалий пользователю отправляются предупреждения. Например, подается команда на увеличение мощности вентилятора принудительного нагнетания и отправляется предупреждение пользователю, если контролиру-

емый уровень твердых частиц превышает заданное значение. На стороне клиента информация от датчиков отображается в виде данных и изображений, что облегчает пользователям понимание рабочего состояния чистого помещения. Эта система может эффективно снизить потенциальные риски, связанные с сбоями в чистых помещениях. Кроме того, для анализа возможных утечек и других проблем можно использовать перепад давления в различных точках, что требует гибкой настройки типа и количества датчиков и топологии сети в соответствии с реальными производственными условиями, чтобы достичь баланса в охвате, надежности системы, экономичности и ремонтнопригодности.

Исследование было профинансировано Китайским советом по стипендиям (CSC) (202209010166).

Список литературы:

1. ГОСТ Р ИСО 14644-2-2020. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. Текущий контроль для подтверждения постоянного соответствия чистоты воздуха по концентрации частиц. – М. : Стандартиформ, 2020. – С. 2–4.
2. A comparative study on energy performance assessment for HVAC systems in high-tech fabs / Y. Zhao [et al.] // Journal of Building Engineering. – 2021 – Vol. 39. – P. 102188.
3. Deposition of Copper and Aluminium Thin Films on Glass and Silicon Wafer Substrates in Particle Controlled BAEC Clean Room / S.M. Rana [et al.] // International Journal of Engineering Research. – 2014 – Vol. 3(6). – P. 418–424.
4. Design of ESP8266 Smart Home Using MQTT and Node-RED / P. Macheso [et al.] // Proceedings – 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS). – Piscataway: IEEE, 2021. – P. 502–505.

УДК 004.92

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ JAVASCRIPT ФРЕЙМБОРКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ: REACT, VUE, ANGULAR, SVELTE

Нуруллин
Анвар Шамилевич

Национальный исследовательский университет ИТМО
магистрант
anvar.nurullin@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу критериев, влияющих на производительность четырех ведущих Javascript фреймворков для веб-разработки: React, Vue, Angular и Svelte. В том числе представлены основные инструменты для сравнения производительности данных фреймворков: Js-framework-benchmark и Google Lighthouse и выделены их метрики для оценки производительности сайтов.

Ключевые слова: производительность, javascript, lighthouse, метрики, фреймворк.

Современные веб-приложения, в силу функциональных возможностей, которые они предоставляют в своих пользовательских интерфейсах, имеют сложную программную структуру. Ручное написание программного кода из-за сложности всего приложения, может привести к неравномерному качеству и содержанию отдельных частей приложения. Поддерживать такие разработанные приложения сложнее. В связи с этим веб-приложения часто разрабатываются с использованием различных фреймворков. Фреймворк позволяет структурировать, упростить и унифицировать написание программных сценариев, а значит, облегчить обслуживание веб-приложений.

Одной из ключевых проблем, которую необходимо рассмотреть, является производительность веб-приложений, особенно в контексте их использования на различных устройствах и в разных сетевых условиях. С увеличением сложности и объема данных, с которыми приходится работать, эффективное управление ресурсами и оптимизация кода становятся важными аспектами разработки.

В последние годы производительность JavaScript фреймворков для разработки веб-приложений стала критическим фактором успеха веб-проектов. React, Vue, Angular и Svelte являются одними из самых популярных и широко используемых фреймворков в этой области и получили значительное признание и распространение благодаря богатому набору функций, простоте использования и гибкости.

В работе [1] приводится описание четырех самых популярных JavaScript фреймворков: React, Vue.js, Angular, Svelte. Проводится их сравнительный анализ на примере их применения в системах сервис-ориентированных тематических социальных сетей.

Отдельное внимание уделяется сравнению производительности этих четырех фреймворков, так как это основная проблема сетей на сегодняшний день, и необходимо определить наиболее подходящее решение для разработки веб-приложений. Определение эффективного решения позволит сократить нагрузку на браузеры пользователей и позволит увеличить максимально возможную аудиторию социальных сетей.

Сравнение производительности производится исходя из информации, размещенной в репозитории GitHub инструмента "js-framework-benchmark". Это инструмент, измеряющий производительность различных фреймворков JavaScript.

Его цель – помочь разработчикам выбрать наилучший фреймворк для своего проекта на основе его характеристик производительности. Это может быть особенно важно для приложений, которые должны хорошо работать на широком спектре устройств, таких как мобильные устройства или низкоуровневое оборудование. [2]

Конкретные показатели и условия, используемые в JavaScript Framework Benchmark, могут сильно различаться в зависимости от конкретного теста. Некоторые общие показатели, которые могут быть измерены, включают:

- Время выполнения задачи: измеряет время, которое требуется платформе для выполнения конкретной задачи, такой как отрисовка страницы или выполнение сложной операции.
- Использование памяти: измеряет объем памяти, который фреймворк использует во время работы.
- Загрузка ЦП: измеряет количество процессорного времени, используемого фреймворком во время работы.
- Количество элементов на странице: измеряет производительность фреймворка при отображении большого количества элементов на странице.
- Время загрузки страницы: измеряет время, необходимое фреймворку для загрузки и отображения страницы.
- Отзывчивость: измеряет плавность и отзывчивость фреймворка при взаимодействии с элементами на странице.

В работе [3] приводится описание инструмента для измерения скорости загрузки веб-сайтов Lighthouse. Lighthouse – это инструмент для анализа производительности веб-страниц, разработанный компанией Google. Он позволяет проверить качество сайта в различных аспектах, таких как скорость загрузки, доступность, оптимизация для мобильных устройств и безопасность.

Lighthouse имеет встроенный набор аудитов, которые проверяют различные аспекты производительности и дают рекомендации по улучшению. Он может использоваться как в браузере Google Chrome, так и в командной строке. Кроме того, Lighthouse может быть интегрирован в процесс разработки сайта через инструменты автоматизации тестирования, такие как Continuous Integration или Continuous Deployment. [4]

Lighthouse является полезным инструментом для веб-разработчиков и владельцев сайтов, которые хотят улучшить производительность своего сайта и повысить удобство использования для пользователей. [3]

Критерии производительности Lighthouse:

- First Contentful Paint (FCP) – время, когда был отрисован первый текст или изображение
- Speed Index (SI) – показывает, насколько быстро содержимое страницы визуально заполняется
- Largest Contentful Paint (LCP) – время, когда отрисовывается самый большой текст или изображение.
- Total Blocking Time (TBT) – сумма всех периодов времени между FCP и TtI, когда длина задачи превысила 50 мс, выраженная в миллисекундах
- Cumulative Layout Shift (CLS) – измеряет движение видимых элементов в окне просмотра.

Таким образом, измерение производительности Javascript фреймворков при помощи инструментов js-framework-benchmark и Lighthouse позволяют разработчикам выбрать наиболее подходящее решение для разработки веб-приложений, что может привести к сокращению нагрузки на браузеры пользователей и увеличению максимально возможной аудитории социальных сетей.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Различные Javascript фреймворки имеют свои уникальные архитектурные приоритеты, что может привести к непостоянной производительности приложений
2. Измерение производительности Javascript фреймворков с помощью js-framework-benchmark и Lighthouse позволяет выбрать лучшее решение для веб-приложений и уменьшить нагрузку на браузеры пользователей, но необходимо учитывать особенности каждого проекта для получения более точных результатов.
3. Метрики Lighthouse обеспечивают сбалансированное представление пользовательского восприятия производительности, и они периодически изменяются на основе исследований и отзывов, чтобы лучше отражать то, что влияет на производительность, воспринимаемую пользователями.

Список литературы:

1. Гончар В.А. Сравнительный анализ frontend-фреймворков для применения в системах сервис-ориентированных тематических социальных сетей // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 5. – С. 751–760.
2. Js-framework-benchmark. // Github. – URL : <https://github.com/krausest/js-framework-benchmark>
3. Siahaan M., Vianto V.O. Comparative Analysis Study of Front-End JavaScript Frameworks Performance Using Lighthouse Tool // Jurnal Mantik. – 2022. – Vol. 6. – № 3. – P. 2462–2468. – URL : <http://www.iocscience.org/ejournal/index.php/mantik/article/download/3131/2445>
4. Документация Lighthouse. // Google. – URL : <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/overview/>

УДК 621.31

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
CODESYS И MATLAB SIMULINK****Трухан
Дмитрий
Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
заведующий кафедрой внутризаводского электрооборудования
и автоматики Армавирского механико-технологического инсти-
тута (филиала) ФГБОУ ВО «КубГТУ», доцент, кандидат техни-
ческих наук
neoasp@yandex.ru**Трухан
Герман Дмитриевич****Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»**
студент
TrukhanGD@mpei.ru**Шевченко
Андрей Сергеевич****Кубанский государственный технологический университет**
студент Армавирского механико-технологического института
(филиала) ФГБОУ ВО «КубГТУ»
andreyshevchenko00001@gmail.com**Зинченко
Олеся Ивановна****Кубанский государственный технологический университет**
студентка Армавирского механико-технологического института
(филиала) ФГБОУ ВО «КубГТУ»
olesyazinchenko20023@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются общие подходы к автоматизации систем управления различными технологическими процессами на промышленных предприятиях, приведен пример применения программ CoDeSys и MATLAB Simulink для автоматизации системы вентиляции в помещении.

Ключевые слова: автоматизация, программирование, контроллер, CoDeSys, MATLAB Simulink, производственный процесс.

Технические системы необходимо эксплуатировать надежно, в течение долгого времени и при оптимальных режимах работы. Технологии производства совершенствуются с каждым днем, благодаря чему решение таких задач становится возможным.

Автоматизация производства является постепенным комплексом мероприятий, позволяющим обеспечивает выполнение большей части ручных операций при помощи машин и механизмов.

Программируемые логические контроллеры уже много лет являются незаменимой частью систем автоматизации предприятий и систем управления технологическими процессами. Количество приложений, использующих ПЛК, огромно.

Программирование ПЛК-150 осуществляется при помощи профессиональной системы программирования CoDeSys v.2.3.6.1 и старше. CoDeSys это Controller Development System. Комплекс состоит из двух основных частей: среды программирования CoDeSys и системы исполнения CoDeSys SP. CoDeSys работает на компьютере и применяется при подготовке программ. Программы компилируются в быстрый машинный код и загружаются в контроллер.

CoDeSys SP работает в контроллере, он обеспечивает загрузку и отладку кода, обслуживание ввода/вывода и прочие сервисные функции. Более 250 известных компаний изготавливают оборудование с CoDeSys. С ним ежедневно работают тысячи людей, решающих задачи промышленной автоматизации. На сегодняшний день CoDeSys – это самый распространенный комплекс МЭК программирования в мире.

Для вентиляционной системы составим программу для ПЛК в программе CoDeSys для ситуации, когда в помещении необходима одновременная работа как ми-

нимум двух любых вентилятора из трех. При этом для каждого вентилятора отдельно предусматриваются кнопки запуска и остановки при последующей реализации.

Можно предположить, что один из вентиляторов 2 и 3 вышел из строя. В таком случае вентилятор 1 должен быть автоматически запущен, так как в любой момент времени должны работать два вентилятора. Помимо этих условий, нам необходимо рассмотреть механические характеристики двигателя, который используется в каждом из 3 вентиляторов.

Необходимо использование светодиодов, которые будут указывать на состояние «Вкл». Разработаем программу для контроллера в CoDeSys на языке CFC.

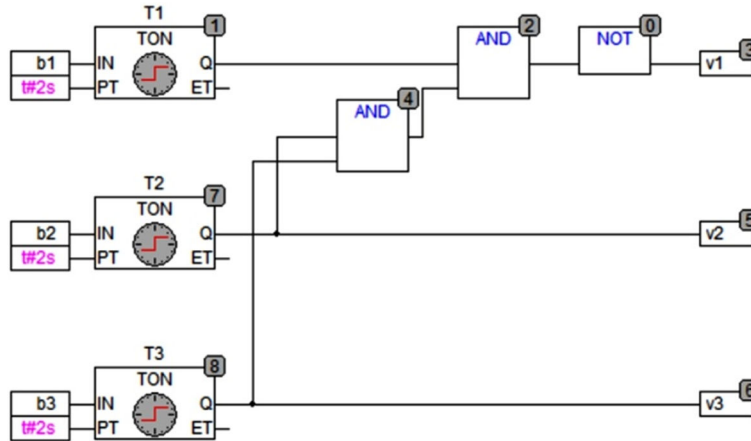


Рисунок 1 – Программа для ПЛК в CodeSys

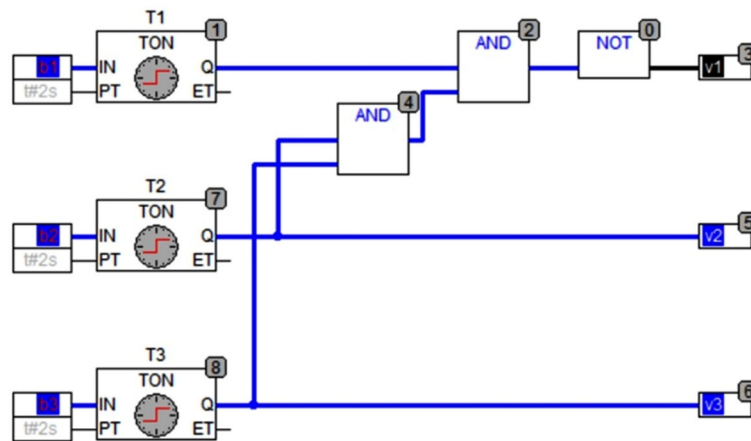


Рисунок 2 – Нормальный режим работы

Рассмотрим случай при поломке вентилятора 3:

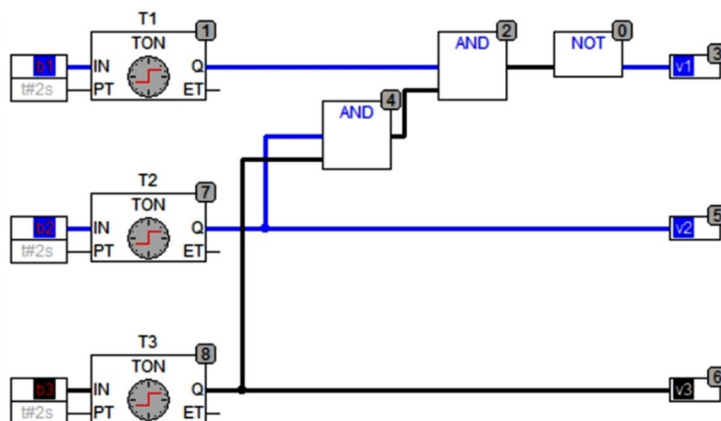


Рисунок 3 – Аварийный режим работы

Для построения механической характеристики двигателя для каждого из 3 идентичных вентиляторов, используемых в автоматической системе вентиляции, собрана схема в программе MATLAB Simulink, по которой мы должны наблюдать увеличение оборотов двигателя при соответствующем изменении частоты питающей сети. Simulink – это подсистема имитационного математического моделирования динамических процессов. Он является составной частью пакета Matlab и полностью интегрирован с ним. Модели в Simulink состоят из набора графических блоков, которые представляют собой компоненты объекта или функциональные элементы, такие как источники сигналов различного вида, виртуальные регистрирующие приборы, средства анимации, а также направленных связей между ними. Собранная схема приведена на рисунке 4 и результат на рисунках 5–7.

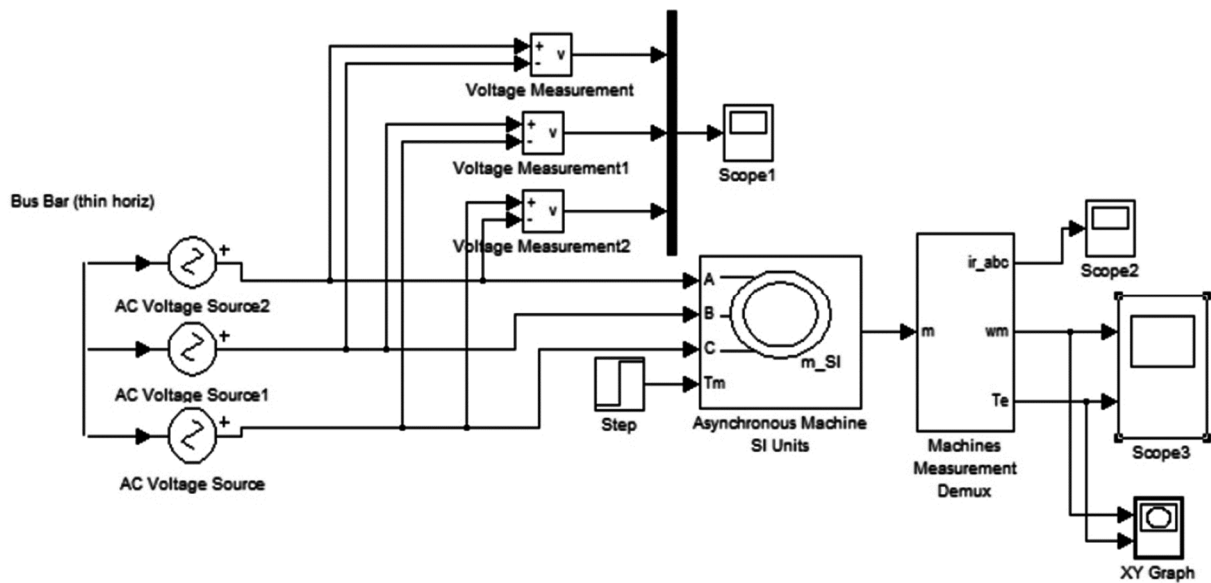


Рисунок 4 – Схема работы двигателя вентилятора в MATLAB Simulink

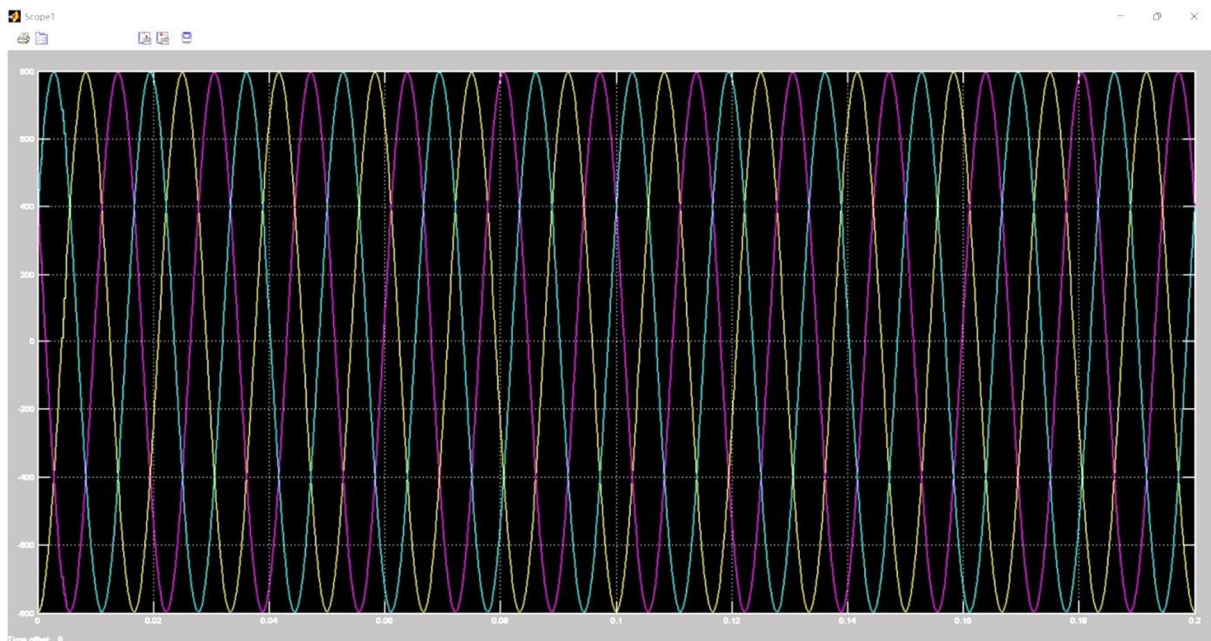


Рисунок 5 – Диаграмма входных характеристик амплитуды напряжения для асинхронных двигателей

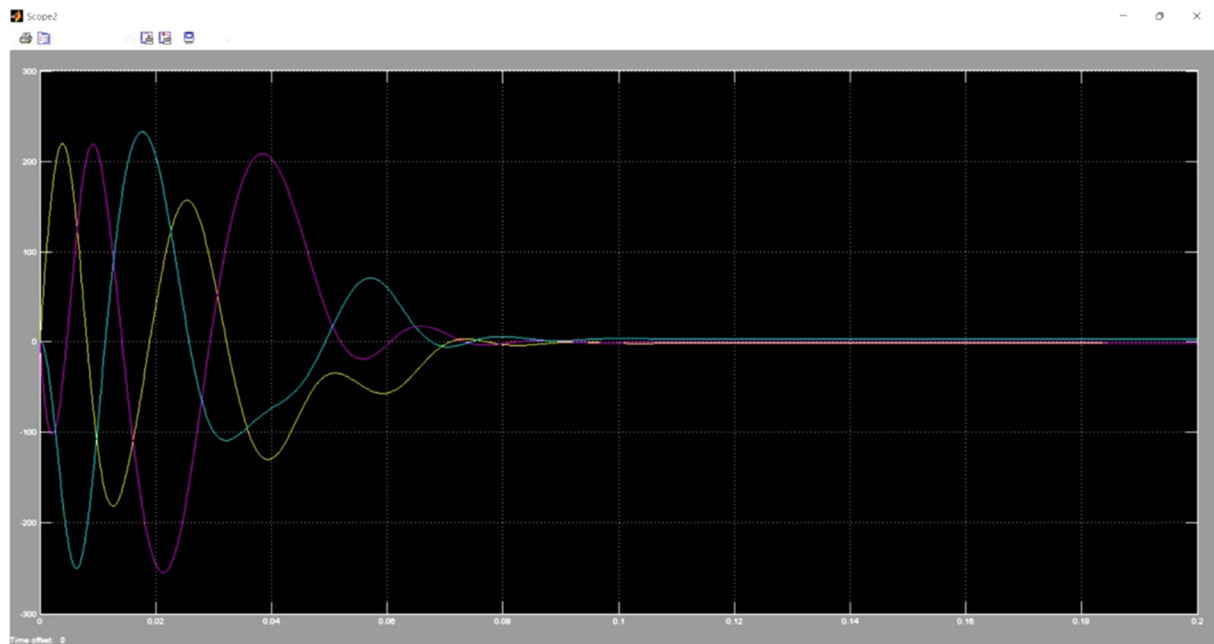


Рисунок 6 – Диаграмма выходных характеристик амплитуды напряжения для асинхронных двигателей

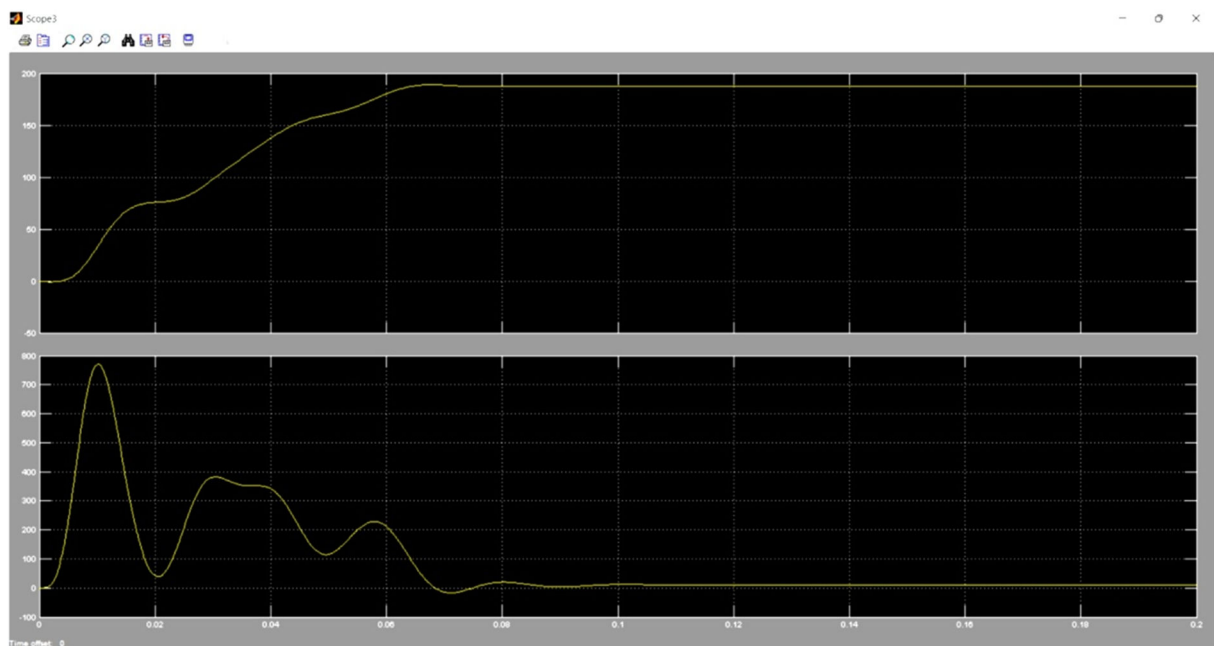


Рисунок 7 – Пусковые характеристики асинхронного двигателя

Для выполнения своих функций в полной мере системы вентиляции также оборудуют датчиками сигнализации, возможностью автоматической смены режима работы в течение определенного времени, установкой воздушных заслонок с их автоматическим управлением и так далее.

Данную систему вытяжной вентиляции можно использовать в небольшом цехе на предприятии деревообработки, где такая система будет наиболее актуальна.

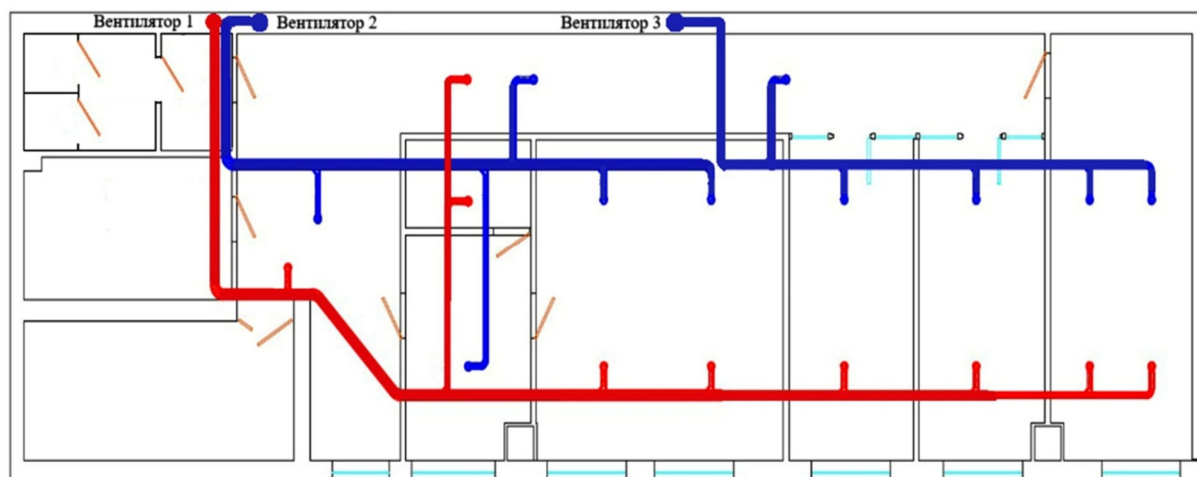


Рисунок 8 – Схема системы вентиляции деревообрабатывающего цеха

Список литературы:

1. Хомяков А.В., Зинченко О.И., Трухан Д.А. Программа управления координатным положением механизма с помощью шаговых двигателей в CoDeSys 2.3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018660737, 28.08.2018. Заявка № 2018618308 от 06.08.2018.
2. Хомяков А.В., Пожидаев Н.К. Программа управления трехсекционным ленточным конвейером в CoDeSys 2.3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017619542, 25.08.2017. Заявка № 2017619542 от 07.07.2017.
3. Хомяков А.В., Трухан Д.А. Информационно-измерительная техника и электроника. – Армавир, 2018.
4. Белозерская Т.Ю., Хомяков А.В. Разработка алгоритмов управления мощностью компенсирующих устройств в системе электроснабжения промышленных предприятий // В сборнике: Научный потенциал вуза – производству и образованию. материалы Региональной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Краснодарского края и 95-летию КубГТУ. – 2013. – С. 187–193.
5. Жаворонков П.С., Трухан Д.А. Применение и синтез нечетких регуляторов в технических системах // Сборник лучших научных работ молодых ученых. Общеуниверситетская студенческая научная конференция (СНК-2020). – Краснодар, 2021. – С. 170–175.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И НИР**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ
СОВРЕМЕННОГО МУЗЕЯ****Попова
Ангелина Николаевна****Краснодарский государственный институт культуры**
студентка
angelinapopova02@mail.ru**Багдасарян
Рафаэль Хачикович****Краснодарский государственный институт культуры**
кандидат технических наук, доцент кафедры
информационно-библиотечной деятельности
и документоведения
rafael_555@mail.ru

Аннотация. Сегодня в каждой сфере используются информационные технологии, и музеи не стали исключением. В настоящем исследовании рассмотрим основные направления использования информационных технологий в современном музейном пространстве. При этом, более детально изучим экспозиционную составляющую музея, поскольку она отвечает за образование смыслового контента музея, визуальную коммуникацию музея и его аудитории. Примечательно и то, что информационные технологии в настоящее время не только преобразуют способы подачи произведения в экспозиционном пространстве, с их помощью изменяется все музейное пространство в целом.

Ключевые слова: дигитализация культуры, мультимедийные и цифровые технологии, музейная экспозиция.

В целях соответствия требованиям современного мира, музеям приходится обращаться к поиску новых форм своей деятельности, а также средств и мероприятий для повышения интереса аудитории. Именно информационные технологии настоящего времени дают начало огромным возможностям и перспективам для музеев.

Если мы посмотрим на применение информационных технологий в музейном пространстве, вначале нужно обратить внимание на оцифровку экспонатов. Данный процесс применяется и зарубежом. Данный способ даёт возможность собрать все культурное наследие, благодаря чему происходит сохранение культурного наследия и его продвижение [1].

В настоящее время музеями все чаще применяются цифровые технологии и мультимедиа. Сохранение и популяризация исторических материалов является важнейшими функциями музея. Так как музейные фонды содержат важную информацию о истории страны и в целом разных культур, одной из главных задач информационных технологий является сохранение и популяризация коллекций. Это помогает не только нести просветительскую деятельность в массы, но и способствует формированию патриотических и гражданских качеств, что не мало важно в современное время. [2]

Многие исследователи утверждают, что сохранение аудитории является одной из главных задач современного музея. Большой популярностью пользуются выставки VR технологий. Мы все привыкли видеть обычные экспозиции и чтобы заинтересовать посетителя, музей стремится создать выставки на основе виртуальной реальности. Самый популярный способ использования данной технологии – QRcode или штрих-код. Одним из первых музеев, который стал использовать виртуальные технологии – «Эрмитаж»

Совместный проект центра виртуальной реальности компании КРОК и Эрмитажа представили виртуальную копию зала Юпитера. Он стал грандиозным в здании нового Эрмитажа. Благодаря современным технологиям получилось воссоздать привычный нам реальный зал музея в виртуальной форме. Благодаря очкам виртуальной реальности, посетители могут осмотреть любое произведение искусства и параллельно слушать историю создания шедевра, биографию и интересные факты о авторе.

Другим примером может служить оцифровка галереи истории древней живописи Эрмитажа. Проект вступил в силу 2 сентября и путешествовал по всей России. Он является одним из тех проектов, который смог объединить страну культурой, невзирая на расстояния. Оцифровка зала оказалась довольно трудоёмкой из-за скульптур из белого мрамора, величины и сложности экспоната, уникальной живописи на стенах, так как в приоритете было передать деталь и текстуру каждого предмета. [3]

Нельзя не сказать про возможности интернета как мощнейший способ коммуникации музея с посетителями. Исследователи считают, что современное общество определяется как процесс становления информационного общества или по другому данное явление получило название «информационный взрыв». Объём информации и следовательно популярность интернета растёт с каждым днём. Это можно наблюдать на рисунке № 1.

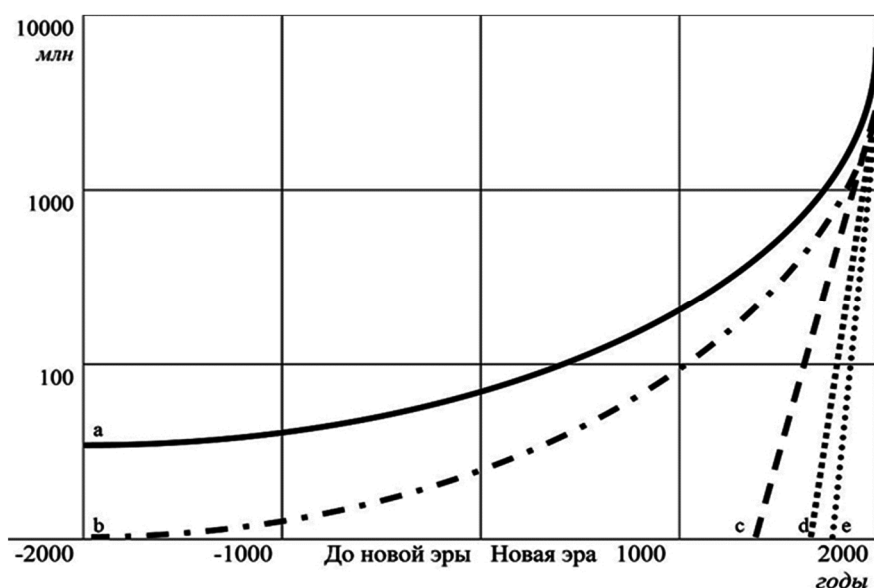


Рисунок 1

Такой скачок характеризуется следующими факторами: увеличение числа людей которые взаимодействуют с информационными технологиями, современное общество не может представить себя без гаджетов и социальных сетей, интернет даёт лёгкий и быстрый способ получения информации.[4]

Информационных технологии тесно связаны с музейной деятельностью: упрощает реставрационные процессы, подготовку музейных экспозиций и даёт возможность посетителям электронно приобрести билеты для посещения. Так же интернет даёт возможность посетителям ознакомиться с коллекциями, получить доступ к интересующей информации и таким образом обогатить свой багаж знаний. Для музейных же работников интернет служит проводником, который помогает размещать временные выставки, изучать аудиторию и модернизировать информацию, делая её интересной и востребованной среди посетителей.

Применение информационных технологий в музейном пространстве помогает музею выполнять его главные функции- хранение, изучение и предъявление публике культурного наследия.

В заключении хотелось бы отметить, что при применении информационных технологий в музейном пространстве основополагающим всегда должен быть подлинный музейный предмет, а цифровые технологии и мультимедиа могут лишь помогать донести замысел и содержание экспоната.

В целом, применение информационных технологий в музеях обеспечит им перспективы для дальнейшего развития, повысит интерес и вовлечаемость аудитории, а также популяризирует их. Помимо этого, при верном методическом и техническом сопровождении информационные технологии дадут возможность музеям освоить совер-

шенно новые для них формы представления информации и работы с посетителями, сохранив при этом богатство содержания и глубину идеи.

Список литературы:

1. Пронина Л.А. Информационные технологии в сохранении культурного наследия // Культурология. – М. : Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2009. – № 3 (50). – С. 144–145.

2. Багдасарян Р.Х., Перфилова Е.Р. Информационные технологии в музее: внедрение VR, AR и 3D технологий в современную музейную среду. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=47957344>

3. Смирнова Т.А. Цифровые технологии в экспозиционном пространстве музея: современные тенденции и перспективы // Информационные технологии. Справочник руководителя учреждения культуры. – 2010.

4. Багдасарян Р.Х., Тарасенко К.А., Завадский Д.А., Применение информационных технологий в музейной деятельности. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=47957345>

УДК 621.317.711

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА
ПО ПРИНЦИПУ ИЕРАРХИИ К ПЛАНИРОВАНИЮ ТРЕБУЕМОГО
УРОВНЯ КАЧЕСТВА И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****Протасов
Виктор Николаевич****Общество с ограниченной ответственностью
Научно-технический центр «Качество-Покрытие-Нефтегаз»**
доктор технических наук, профессор, научный руководитель
protasov1935@rambler.ru**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 и радиоэлектронного
оборудования
jlms@mail.ru**Либерман
Вениамин
Александрович****Кубанский государственный технологический университет**
студент
venya.liberman@bk.ru

Аннотация. В работе представлены методические основы системного подхода к планированию уровня качества по принципу иерархии.

Ключевые слова: качество, стандарт, система, иерархия.

Специфика большинства производств заключается в том, что функционирование их технологических систем обеспечивается не отдельными видами оборудования, работающими автономно, а достаточно сложными по структуре техническими системами, состоящими из комплекса разнообразных взаимосвязанных видов оборудования.

Например, в технологической системе добычи нефти техническими системами (подсистемами технологической системы) являются скважинные колонны насосно-компрессорных и обсадных труб, скважинные насосные и газлифтные установки, устьевое оборудование скважин, промысловые трубопроводы, наземная промысловая для первичной подготовки и хранения нефти и др. [1–3]. К техническим системам, используемым для электро и теплоснабжения (гибридным энергетическим комплексам [4]) относятся: фотоэлектрический преобразователь, приводной дизель, тепловой преобразователь, трехвходовая генераторная установка [5–7], блок утилизации тепла, солнечная тепловая панель, холодильный аппарат, преобразователь «тепло-холод».

Основные признаки технической системы:

- система состоит из отдельных элементов, т.е. имеет структуру;
- система создана для выполнения определенных функций;
- элементы системы связаны друг с другом определенным образом, организованы в пространстве и времени;
- система в целом обладает качеством, неравным простой сумме качеств составляющих ее элементов;
- качество системы по принципу иерархии определяет качество ее отдельных элементов.

Отдельные элементы сложных технических систем в большинстве случаев представляют собой технические подсистемы, комплексы, комплекты, сборочные единицы, детали (неделимые элементы), взаимосвязанные между собой в определенной последо-

вательности, определяющей их соподчиненность и взаимосвязь в технической системе по принципу иерархии, что определяет многоуровневую блочно-иерархическую структуру сложной технической системы.

Блочно-иерархическая структура технической системы обуславливает недопустимость разработки стандартов, регламентирующих качество отдельных элементов технической системы, если не разработан стандарт, регламентирующий качество системы в целом, так как требуемое качество системы определяет качество ее отдельных элементов.

Такой системный подход планирования качества по принципу иерархии пока не освоен большинством специалистов, разрабатывающих стандарты качества. Например, стандарты, регламентирующие качество труб нефтяного сортамента разработаны при отсутствии стандартов, определяющих качество колонн насосно-компрессорных и обсадных труб, промысловых трубопроводов.

Технологическая система предприятия – это совокупность элементов и процессов, связанных между собой по принципу иерархии и предназначенных для достижения определенной цели. Технологическая система включает в себя следующие элементы: оборудование, инструменты, материалы, процессы, операции и людей, связанных между собой по принципу иерархии. Каждый элемент играет определенную роль в функционировании технологической системы и влияет на ее качество и экономическую эффективность. При этом требуемый уровень качества и экономической эффективности технологической системы определяет по принципу иерархии соответствующий уровень качества и экономической эффективности ее элементов.

Техническая система предприятия – это совокупность упорядоченно взаимодействующих элементов – изделий машиностроения (комплексов, комплектов, сборочных единиц и деталей), обладающая свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных элементов, и предназначенная для выполнения определенных полезных функций. Техническая система является элементом технологической системы предприятия.

Техническая система и ее элементы являются результатом производственного процесса, а, следовательно, продукцией. Назначение продукции – это функции, которые она должна выполнять в заданных условиях применения в течение регламентированного интервала времени. Условия применения продукции – это условия внешней среды и внешних воздействий, при которых она может использоваться.

В настоящее время существует множество определений понятия «качество продукции», не соответствующих смыслу этого понятия. По мнению авторов качество продукции – это требуемая потребителю и другим заинтересованным сторонам сущность этой продукции, выражаемая ее конкретными свойствами, показателями этих свойств в заданных условиях применения и нормами на показатели, определяющими эту сущность и регламентированные в требованиях к продукции.

Требуемые свойства продукции получили название – потребительские свойства. Нормы на показатели потребительских свойств продукции определяют требуемый уровень проявления этих свойств и являются критериями качества продукции. Уровень качества продукции – относительная характеристика качества продукции, оцениваемая величиной отклонения действительных значений показателей ее потребительских свойств от регламентированных в технических требованиях норм, определяющих базовый уровень качества продукции.

Соответствующие уровни качества этой продукции, а также уровень экономической эффективности регламентируют в нормативной документации на основании статистических данных о видах и характеристиках дефектов конкретной продукции и проведенной оценке степени их влияния на выполнение продукцией своего назначения, на уровни ее надежности, технологичности и других потребительских свойств. Наиболее высокий регламентированный уровень качества получил название базовый, обеспечивающий наиболее высокую стоимость продукции на рынке при достаточном для производителя объеме сбыта этой продукции.

Уровень качества продукции может быть выше базового (уникальный уровень). Это требует единичного производства такой продукции и определяет, соответственно, более высокую цену этой продукции на рынке при ограниченном объеме ее сбыта. Служба маркетинга предприятия, изучая запросы рынка на свою продукцию различного уровня качества и возможную ее цену, рекомендует руководству предприятия объе-

мы выпуска продукции различного уровня качества с целью получения наибольшей прибыли. В соответствии с этими рекомендациями руководство предприятия управляет объемами выпуска продукции различного уровня качества.

Каждый более низкий регламентированный уровень качества продукции, начиная с базового, является браком по отношению к предыдущему, что определяет снижение цены на эту продукцию. Однако, при достаточно большом объеме спроса на продукцию более низкого уровня качества необходимая прибыль предприятия обеспечивается.

Брак может быть исправимым и неисправимым. Исправимым является брак, при котором действительные характеристики продукции могут быть изменены до значений, соответствующих более высокому уровню качества, с обязательным выполнением условия, что при дополнительных затратах на устранение брака будет обеспечена необходимая прибыль предприятия при сбыте этой продукции на рынке.

Причиной более низкого уровня качества продукции по сравнению с базовым уровнем является не только брак, но и умышленное желание производителя снизить затраты на производство продукции при одновременном снижении ее цены на рынке, что обеспечит больший объем сбыта продукции и в результате – более высокую прибыль. Например, различная комплектация, снижение технических характеристик и др. Недопустимым является снижение уровня безопасности продукции, установленного государственным регламентом.

Требования к технической системе, ее элементам, соединениям элементов должны содержать:

- требуемые потребительские свойства системы и её элементов, показатели потребительских свойств в исходном состоянии и при внешних воздействиях на разных стадиях жизненного цикла у потребителя (хранение, транспортировка, монтаж, эксплуатация, ремонт), нормы на показатели – критерии качества;

- методики испытаний при контроле соответствия действительных значений показателей потребительских свойств технической системы, ее элементов, структурных составляющих неделимых элементов, соединений элементов установленным нормам – критериям качества в условиях, моделирующих внешние воздействия на них не только по видам воздействий, но и по интенсивности каждого из них на разных стадиях жизненного цикла у потребителя.

В стандартизированных и корпоративных технических требованиях к различным изделиям регламентируются методы испытаний, а не методики испытаний. Это обуславливает несоответствие условий испытаний в лабораторных условиях реальным условиям при эксплуатации и, как следствие, необъективность результатов контроля. Следует различать метод и методику испытаний.

Метод испытаний – правила применения определенных принципов и средств испытаний при контроле конкретных характеристик изделия. Метод испытаний не привязан к конкретным изделиям, не учитывает конструкционные особенности этих изделий, не определяет на каких участках изделия следует проводить контроль его требуемых характеристик, после каких внешних воздействий и т.п.

Методика испытаний – это организационно-методический документ, обязательный к выполнению, включающий метод испытаний, средства и условия испытаний, отбор проб (образцов), алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов.

Производственное оборудование используется в разнообразных условиях эксплуатации. При этом даже в конкретной компании условия эксплуатации могут изменяться в достаточно широких пределах. Каждая компания стремится получить оборудование для своих конкретных условий его использования. Однако заводы изготовители не могут удовлетворить желание каждого потребителя, т.к. это экономически нецелесообразно. В большинстве случаев компании заказывают оборудование для самых жестких условий эксплуатации. Это обуславливает неоправданную высокую стоимость этого оборудования, хотя эти жесткие условия могут составлять незначительный процент от общего диапазона разнообразных условий эксплуатации. Поэтому целесообразно разбить предельно возможный диапазон изменения количественной или качественной характеристики каждого вида внешнего воздействия на элементы оборудо-

вания на следующие стандартизированные нормативные диапазоны условий эксплуатации: нормальный, повышенный, усиленный, жесткий и др.

Разбиению на нормативные диапазоны характеристик конкретных видов внешних воздействий на элементы оборудования должна предшествовать систематизация:

- стадий жизненного цикла элементов оборудования;
- видов внешних воздействий на элементы оборудования на разных стадиях жизненного цикла;
- характеристик каждого вида воздействия на элементы оборудования;
- диапазона изменения числовых или качественных значений этих характеристик.

Жизненный цикл элементов оборудования из следующих стадий: хранение; транспортировка; использование по назначению; технологические операции; техническое обслуживание; ремонт.

Разнообразные виды внешних воздействий на элементы оборудования на разных стадиях их жизненного цикла, например, в нефтегазовой компании можно разделить на:

- тепловые, обусловленные атмосферной температурой при хранении и транспортировке, температурой эксплуатационной и технологической сред при использовании по назначению, техническом обслуживании и проведении технологических операций;
- силовые, определяемые величиной действующей нагрузки, характером ее изменения во времени (статическая, циклическая, динамическая), давлением транспортируемой среды, стрелой поперечного изгиба;
- фрикционные, вызванные трением потока абразивосодержащей жидкости или жесткого контртела;
- физико-химические, обусловленные контактом с эксплуатационной и технологической средами и их отдельными компонентами.

Каждый из перечисленных видов внешних воздействий следует разбить по интенсивности влияния на потребительские свойства элемента оборудования на нормативные диапазоны: нормальный (от А до В); повышенный (свыше В до С); усиленный (свыше С до Д); жесткий (свыше Д до Е).

Каждый нормативный диапазон интенсивности рассматриваемого вида внешнего воздействия на конкретные элементы оборудования должен соответствовать условиям эксплуатации значительного количества этих элементов. Это определяет экономическую целесообразность промышленного производства элементов оборудования, обладающих требуемым уровнем качества при эксплуатации в конкретном нормативном диапазоне при минимальных затратах на их производство и применение.

Эффективная работа предприятия, производящего техническую продукцию, определяется качеством управления его следующими структурными системами: организационной, экономической, технологической, технической, социальной [8].

Организационная система предприятия – это объединение людей, совместно реализующих некоторую программу и действующих на основе согласованных процедур и правил. Например, для электрохозяйства это – административно-технический персонал, эксплуатационный персонал, оперативный персонал, ремонтный персонал, оперативно-ремонтный персонал [9]. Наличие нормативов (стандартов), которые регламентируют совместную деятельность участников организационной системы, является связующим системным фактором.

Экономическая система предприятия – это действующая на предприятии совокупность принципов, правил и связей, которые определяют форму и содержание основных экономических отношений, возникающих в процессе производства, обмена, распределения и потребления экономического продукта. Цель экономической системы – организовать социально-экономические отношения между производителем и потребителем с максимальной эффективностью.

Социальная система предприятия – это совокупность сооружений, зданий, систем и служб, необходимых для обеспечения условий жизнедеятельности работников предприятия. К социальной системе относятся: здравпункты, библиотеки, жилищно-коммунальное хозяйство, столовые, детские сады, санатории, стадионы, бассейны и т.д.

Одним из структурных элементов организационной системы предприятия является пакет официальных документов, отражающих иерархию и состав организации, а также функции, права и обязанности ее основных элементов. По сути это матрица, которая показывает, как на предприятии построен процесс функционирования и порядок

взаимодействия между различными уровнями управления и подразделениями для обеспечения эффективности деятельности предприятия. К таким документам относятся стандарты менеджмента качества.

В серии международных стандартов ISO 9000, регламентирующих систему менеджмента качества, рассматривается управление только организационной системой (менеджментом качества), в отрыве от управления технологической, технической и социальной системами этого предприятия, что недопустимо. В указанной серии стандартов регламентированы следующие основные принципы менеджмента качества предприятия: 1. Ориентация на потребителей; 2. Лидерство; 3. Взаимодействие работников; 4. Процессный подход; 5. Улучшение; 6. Принятие решений, основанное на свидетельствах; 7. Менеджмент взаимоотношений. Эти принципы являются потребительскими свойствами организационной системы предприятия. В стандартах по менеджменту качества должны быть указаны показатели этих потребительских свойств для разных уровней качества работы предприятия и соответствующие им нормы – критерии качества деятельности предприятия.

Регламентированные стандартами серии ISO 9000 принципы и методы обеспечения менеджмента качества проектирования технических систем, их изготовления, технического обслуживания и ремонта могут обеспечивать эффективное управление этими процессами только при взаимосвязи норм, определяющих уровень выполнения этих принципов и методов, с нормами-критериями качества и экономической эффективности указанных производственных процессов. Однако нормы на уровень выполнения регламентированных правил и процедур в стандартах серии ISO 9000 по менеджменту качества не рассмотрены.

Список литературы:

1. Протасов В.Н. Планирование и обеспечение качества технических систем нефтегазового комплекса / В.Н. Протасов, В.Я. Кершенбаум, О.О. Штырев О.О. // Нефтепромысловые трубопроводы : монография. Научное издание. – М. : Национальный институт нефти и газа, 2020. – С. 444.
2. Протасов В.Н., Планирование и обеспечение качества колонн насосно-компрессорных труб из стальных элементов с защитными покрытиями на нефтяных месторождениях : монография / В.Н. Протасов, Д.Н. Боровков, А.С. Александрин. – Москва – Вологда : «Инфа-Инженерия», 2023. – 264 с.
3. Протасов В.Н. Планирование и обеспечение качества и эффективности технологических процессов в машиностроении : монография / В.Н. Протасов, И.О. Романов, М.В. Шахов. – Москва – Вологда : «Инфа-Инженерия», 2023. – 284 с..
4. Пат. 2759192 RU, 16.03.2021. Гибридный энергетический комплекс / Я.М. Кашин // Оpubл. 10.1.2021. Бюл № 31.
5. Пат. 2759598 RU, 01.04.2021. Стабилизированная трехходовая аксиально-радиальная электрическая машина-генератор / Я.М. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 16.11.2021. Бюл. № 32.
6. Пат. 2763044 RU, 01.04.2021. Трехходовая аксиально-радиальная электрическая машина-генератор / Я.М. Кашин, // Оpubл. 27.12.2021. Бюл. № 32.
7. Пат. 2589730 RU. 29.07.2015. Трехходовая аксиальная генераторная установка / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 10.07.2016. Бюл. № 19.
8. Протасов В.Н. Системный подход к выбору критериев качества технических систем и их элементов для добычи нефти и газа по принципу иерархии / В.Н. Протасов, В.В. Шкода // Технические и технологические системы «ТТС-22» : матер. тринадцатой Междунар. научн. конф. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 384–388.
9. Кириллов Г.А. Эксплуатация электрооборудования : учебник / Г.А. Кириллов, Я.М. Кашин. – М. : Изд-во МЭИ, 2018. – 488 с.

ВИРТУАЛЬНЫЕ МУЗЕИ. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И СУЩЕСТВОВАНИЯ

**Сотниченко
Артём Алексеевич**

Краснодарский государственный институт культуры
студент
cotnechenko82@mail.ru

**Багдасарян
Рафаэль Хачикович**

Краснодарский государственный институт культуры
кандидат технических наук, доцент кафедры
информационно-библиотечной деятельности
и документоведения
rafael_555@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются аспекты существования виртуальных музеев, в совокупном влиянии на реальные музеи и пользователей сети Интернет, которые посещают виртуальные музеи.

Ключевые слова: музей, виртуальный музей, цифровизация в музейной среде, музееведение.

Виртуальный музей – само это понятие включает в себя совокупность цифровых и технических ресурсов в культурной сфере, доступных пользователю с любых базовых программных и технических средств. В наше цифровое время виртуальный музей уже кажется данностью, однако, уровень его развития оставляет желать лучшего.

Виртуальный музей уже считается одной из форм традиционного музея, как аспект внедрения новых технологий и процессов в музейную среду. Однако, стоит отметить, что стать полноценной альтернативой он не сможет. При этом он расширяет стандартные функции музея, привлекая больше посетителей и увеличивая количество возможностей музея. При этом используя новые методы искусство становится более модным и привлекательным. Музей же – это особый социально-культурный институт, выполняющий свои социокультурные функции. Являясь главным собирателем и хранителем истории и культуры, музею приходится развиваться в угоду времени, но при этом главные функции музея остаются неизменными. Но каковы же основные функции музея?

Первоочередной функцией музея является – сохранение социальной памяти. Она включает в себя сбор, сохранение и защиту истории цивилизации, культуры, народа и отдельно взятых личностей, событий и мест. Для каждого народа все эти качества уникальны и особенны. Они влияют на представление о мире, гармонии, красоте, эстетике, позволяют сохранить и укрепить связь между поколениями. Из неё как следствие вытекают все остальные функции музея: социально-культурная, образовательная (просветительская), научная. Далее разберем каждую в отдельности:

Социально-культурная функция подразумевает под собой – посредническую роль музея между посетителем и прошлым представленным музейными экспонатами. Осуществляя данную функцию музей помогает социуму удовлетворить свои потребности в сохранении и использовании экспонатов в качестве свидетелей объективной реальности. Позволяя отделить ложь от истины. Также музей помогает организовать досуг посетителей. В современном мире музеи стали реализовывать свои цели и задачи по ознакомлению с историей, культурой, бытом других регионов, народов или особо интересных феноменов и ситуаций. Заполняя тем самым потребность гостей в эмоциональном и культурном развитии.

Научная же функция одна из важнейших в работе музейных специалистов. Изучая экспонаты, они понимают суть самого предмета, его историю, смысл, то, когда и кем он был создан и для чего предназначался предмет. Исследуя исторические собы-

тия, они создают наиболее достоверное понимание прошлого. И уже после детального изучения и полноценного анализа музей переходит к образовательной функции.

Базирующаяся на социально-культурной и научной функциях – образовательная (просветительская) функция предстает перед посетителями во всей своей красе. Именно она является симбиозом всех остальных функций музея. Просветительская функция помогает посетителям наиболее полноценно понять смысл всех остальных задач музея. Благодаря ей каждый гость музея способен понять всю суть прошлых событий, ведь без экскурсии мы мало что узнали бы просто пройдя по залам музея. Каждый экскурсовод выбирает те события, которые наиболее значимы для каждого экспоната, а в случае непонимания он ответит на вопросы каждого посетителя [1]. Опытный экскурсовод сможет заинтересовать любого человека, и ребенка, и взрослого. Ведь именно так открывается и узнается, та связь поколений, которую с трепетом хранит, изучает и организывает каждый музейный работник и музей в общей своей целостности. Базируясь на функциях традиционного музея, виртуальный музей может расширить их влияние на более крупную аудиторию. Но чем же обычный музей отличается от виртуального музея?

Являясь одним целым виртуальный музей пробуждает интерес к посещению самого музея, чтобы увидеть не обычную картинку в сети, а сам экспонат, почувствовать дух и историю которые так важны в нашей жизни. Но все же у виртуальных музеев есть ряд проблем, которые стоит обозначить прежде чем понять, нужны ли нам виртуальные музеи. В создании виртуальных музеев задействуются и другие технологии и больше специалистов. Так виртуальный музей использует 3D модели, оцифровку, проектирование и ресурсы сети интернет. Базируясь в сети экспозиции музея доступны для создания и демонстрации через персональный компьютер, сенсорные панели, телефоны и планшеты. В создании виртуального музея принимают участие не только музейные специалисты, но и другие специалисты, к примеру, такие как дизайнеры, программисты, 3D художники, так же важные инженеры [3].

Если говорить про задачи отдельных специалистов, то можно представить их в виде схемы-таблицы:

Таблица 1 – Примерные функции и задачи специалистов

Музейный специалист	Дизайнеры и 3D художники	Программисты	Инженеры
Обязанности			
Отбор экспонатов и подбор информации	Создание моделей и макетов экспонатов	Создание программной базы для виртуального музея	Создание и подготовка технической базы для функционирования музея
Создание самой экспозиции и экскурсии	Создание стиля виртуального музея	Создание сайта и размещение на нем экспозиций и экскурсий	Проверка и контроль техники

В основные проблемы виртуальных музеев стоит включить следующие пункты:

- Иллюзия удовлетворенности связью поколений.
- Невозможность получить практически мгновенный ответ на интересующий вопрос.

- Отсутствие социализации.
- Отсутствие «музейного духа».

А теперь разберем каждый пункт подробнее:

Начнем, пожалуй, с последнего пункта – отсутствие «музейного духа». Посещая физически реальный музей, посетитель может окунуться в ту атмосферу, которая создавалась под определенные экспонаты и экскурсии. Особая атмосфера каждого зала и экскурсии создает особый симбиоз между всем, что находится в музее. Именно эта атмосфера помогает посетителю почувствовать себя частью истории.

Иллюзия удовлетворенности связью поколений рождается из того, что, посетив виртуальный музей пользователь получает частичное представление о предмете и его значимости. И именно это представление создает иллюзию того, что человек ощутил себя частью истории, без реального представления о экспонате, не ощутив той важности, которую несет в себе предмет.

Невозможность получить ответ связана напрямую с экскурсиями, так как в обычном музее идет диалог между экскурсоводом-экспонатом, которые выступают как одно целое, и посетителями. И в случае если возникает вопрос, то в музее посетитель может задать его экскурсоводу, а просматривая виртуальную экспозицию пользователю придется самому искать ответ в сети, которого там может и не оказаться из-за ограниченности к музейным ресурсам. Отсюда вытекает и следующий аспект, отсутствие социализации. Изучая виртуальную экспозицию, пользователь находится в диалоге с техникой, а не с экспонатом и экскурсоводом. Следовательно, обрывается связь между посетителем и прошлым, так как между ними в качестве посредника выступает техника, которая не может поддержать диалог и восполнить психологическую потребность в общении и социализации.

Однако, у виртуального музея есть и определенные плюсы. Например, находясь в России, пользователь может спокойно с домашнего компьютера посмотреть виртуальную экспозицию Лувра, даже не побывав во Франции никогда. Но все же в этом кроется ещё одна проблема. Не посетив Лувр в живую, человек не ощутит на себе всю его важность, значимость и мощь в мире музеев и истории. Но все же вернемся к плюсам виртуальных музеев. Так пользователь может посмотреть виртуальную экспозицию того же Лувра и у него появится желание увидеть все эти экспонаты своими глазами не в экране монитора, а в выставочном зале музея и ощутить его дух времени, которым пропитан каждый музейный экспонат. Ещё один минус виртуального музея влияет больше на сами музеи, нежели чем на обычных посетителей. Обработка каждого экспоната занимает много времени, а появление виртуальных экскурсий усложняет эту работу. У музейного работника может просто не хватать времени на обработку всех данных, чтобы описать предмет, понять его состояние и в дальнейшем передать для работы с его историей и его оцифровки. Так же стоит отметить техническую проблематику. У каждого музея свой набор техники, что может повлиять на подлинную цветопередачу предмета. Так же у каждого пользователя разная техника, что так же влияет на восприятие цвета предмета, а, следовательно, на все восприятие в целом.

Виртуальные музеи можно использовать в разных форматах. Так Исторический парк «Россия – моя история» [4] можно тоже отнести к виртуальным музеям, но существующему не в сети, а как обычный музей, но с виртуальной экспозицией без реальных экспонатов. Также виртуальные музеи можно и нужно использовать в образовательных программах. Преподавая уроки истории в учебных заведениях, в основном школы, можно обратиться к виртуальным музеям, демонстрируя ученикам не сухой текст, а визуализированный объект [2]. Когда изучаешь историю искусств разных стран, невозможно понять, как выглядела архитектура, скульптура, живопись, ДПИ без их визуализации и тут на помощь могут прийти 3D модели, оцифрованные фотографии и картины, визуализированные предметы в виде фотомaketов созданных на основе чертежей, записей, рисунков тех времен.

Подводя итоги стоит отметить, что виртуальные музеи имеют множество как плюсов, так и минусов. В общей сумме виртуальный музей никогда не сможет заменить реальный музей. Отобрать все функции у обычного музея будет невозможно. Также виртуальные музеи имеют множество проблем, как в техническом, так и в информационном плане. На данный момент мы стоим только в начале пути развития виртуальных музеев. И до полноценного идеала им еще далеко. Развитие технологий идет очень быстро, а количество музейных экспонатов из года в год растет, из-за чего те экспонаты, которые давно нашли, но еще не обработали либо уходят на второй план, либо оттесняют новые предметы. Виртуальным музеям предстоит пройти еще большой путь, чтобы хотя бы приблизиться по важности к реальным музеям. А пока что они так и остаются, как один из способов привлечь новых посетителей и краткий справочник музейных экспонатов, и помощник в образовании.

Список литературы:

1. Музеи России в условиях цифровизации культуры: сборник научных трудов / отв. ред. Д.Д. Родионова, А.А. Насонов; Кемеровский государственный институт куль-

туры. – Кемерово : Кемеровский государственный институт культуры (КемГИК), 2021. – 178 с.: ил. – URL : <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=696816>

2. Наумченко Ю.С. Организация виртуальных экскурсий по ознакомлению младших школьников с творчеством русских художников на этапе подготовки к написанию сочинений в четвёртом классе: [16+] / Ю.С. Наумченко; Московский педагогический государственный университет, Институт детства, Факультет начального образования, Кафедра русского языка и методики его преподавания в начальной школе им. М.Р. Львова. – М. : б.и., 2021. – 128 с. – URL : <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=691158>

3. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы IV Международной научно-практической конференции. г. Тамбов, 15–17 ноября 2017 г.: в 3 т. Вып. 4. Т. 2 / Под общ. ред. В.А. Немтинова; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2017. – 322 с. – URL : <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=499424>

4. Багдасарян Р.Х., Комлева Е.А. Информационные технологии, применяемые в патриотическом воспитании (на примере исторического парка «Россия – моя история»). – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49082906>

**МЕТОДИКИ РАЗВИТИЯ ПОДВИЖНОГО,
КРИСТАЛЛИЗОВАННОГО И ИНТУИТИВНОГО ИНТЕЛЛЕКТОВ**

Энсис Е.И.	Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков кандидат психологических наук kvvaul@mil.ru
Колесников В.П.	Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков кандидат технических наук, доцент
Терехов В.В.	Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков кандидат технических наук, доцент

Аннотация. В научной статье представлены новые педагогические подходы и приемы для развития у обучаемых с изначально разным уровнем знаний их подвижного и кристаллизованного интеллекта. Применение на практике таких методик позволит обеспечить более плавный переход обучения с оперативно-цифрового на интуитивный интеллект, а так же ускорить процесс усвоения учебного материала обучаемыми. Синтез наук является не только механизмом перехода, но и обоснованием для моделирования ментальных конструкций при образном мышлении.

Ключевые слова: образование, обучаемый, сознание, подвижный интеллект, кристаллизованный интеллект, интуитивный интеллект.

В настоящее время различают два основных типа интеллект: текучий (подвижный, флюидный) интеллект и кристаллизованный интеллект. Каждый из этих интеллектов выполняет свои функции, которые обеспечивают человеку способность легко учиться и хранить полученные знания. Преодоление трудностей при обучении и обработки больших объемов информации в более короткие сроки можно решить за счет перехода к интуитивному интеллекту. Разработанные педагогические приемы на основе использования подвижного и кристаллизованного интеллекта с учетом наличия разноуровневых групп, отличающихся уровнем сознания и типом интеллекта дают возможность плавно перестроить обучение с оперативно-цифрового на интуитивный интеллект.

Что же такое интеллект?

Интеллект (от лат. intellectus «восприятие», «разумение», «понимание», «понятие», «рассудок») или ум – качество психики, состоящее из способности осознавать новые ситуации, способности к обучению и запоминанию на основе опыта, пониманию и применению абстрактных концепций, и использованию своих знаний для управления окружающей человека средой. Общая способность к познанию и решению проблем, которая объединяет познавательные способности: ощущение, восприятие, память википедия [1].

Подвижный интеллект (также используются названия *текучий, флюидный*), – это та часть нашего интеллекта, которая участвует в понимании, рассуждении и решении проблем. Это способность мыслить логически, анализировать и решать задачи, выходящие за пределы предыдущего опыта. Подвижный интеллект относится к исполнительным функциям [1]. Справочная информация указывает на то, что последние научные исследования утверждают, что подвижный интеллект достигает пика у человека примерно в возрасте 40 лет. От снижения его возможностей можно уберечься, если продолжат ь интеллектуально трудится и улучшать его качества.

Кристаллизованный интеллект – отвечает за область воспоминаний о знаниях и прошлом опыте. Это знания, которые человеком уже получены независимо от того, насколько легко или трудно было ими овладеть. Этот тип интеллекта включает в себя словарный запас, общие знания, навыки и любые математические правила и формулы [2]. Он увеличивается с течением времени, а затем начинает снижаться примерно к 60 годам. В этой связи эксперты считают, что кристаллизованный интеллект может быть улучшен посредством профессионального образования и жизненного опыта.

Ранее считалось, что оба интеллекта оставались неизменяемыми с рождения, однако новые исследования показывают, что используя специальные техники можно улучшить функциональные возможности головного мозга. При этом, как правило, предлагаются следующие простые умственные упражнения (см. табл. 1):

Таблица 1

Простые умственные упражнения		
общение с умными людьми	играть в игры	тренировать тело
полноценный сон	потреблять полезную пищу	изучать новое
привычка делать заметки	писать своей рукой	читать умные книги

Развитие подвижного интеллекта

Для развития подвижного интеллекта обучаемых при работе с учебными группами с различным уровнем сознания и образованности, нами был разработан новый методический подход ускоренного перехода от оперативно-цифрового к интуитивному интеллекту. Он способствовал воспитанию интеллектуальной активности и позволял через педагогическую и психологическую технологию произвести классификацию обучаемых по уровням сознания и составить их визитные карточки интеллектуального потенциала, что позволяло судить о темпе и ритме мышления, то есть сообразительности.

Освоение обучаемыми интернет-ресурсов и теоретических потоков информации потребовали не только интеллектуальной активности, но и увеличения объема памяти и повышения активности подвижного интеллекта на основе использования мотивационных приемов. Мотивационная модель перехода – используемая преподавателем состоит в том, чтобы вызвать в обучаемом следующие эмоциональные состояния (см. табл. 2):

Таблица 2

Эмоциональные состояния обучаемых	
удивление при соприкосновении с неизвестным феноменом	интерес и желание к изучению феномена, стремление к интеллектуальному росту
радость открытия и познания	вдохновение как стремление к обучению

Подвижный интеллект – это способность обучаемого к обучению за счет понимания причинно-следственных связей и долгосрочной памяти, которая дает возможность удерживать в сознании информацию и манипулировать ею для решения поставленных задач.

Рабочая память при воспитании подвижного интеллекта будет отвечать за когнитивные функции и управлять вниманием обучаемого при восприятии учебного материала, чтобы в дальнейшем посредством *интеллектуальной активности* осуществлять ментальные операции на основе логического мышления, которые будут использованы при планировании задач.

Например, подвижный интеллект способствует обучению обучаемого-стандартника и его перехода в образовании на уровень обучаемый-личность путем развития понимания причинно-следственных связей и долгосрочной памяти. Эта рабочая память будет давать возможность обучаемому удерживать учебную информацию и

манипулировать ею в течение отведенного учебного времени. Так как рабочая память обучаемого-личности отвечает за когнитивные функции и способствует их развитию, следовательно, преподаватель успешно управляет вниманием обучаемого по усвоению учебного материала и этим исполняет важнейшую роль в осуществлении мозговых операций по сообразительности при планировании задач [3].

Воспитание подвижного интеллекта позволит сформировать образное восприятие учебного материала и его понимание. У обучаемого возникает новое качество психики – способность осознавать и оценивать новые ситуации, что не только мотивирует, но и усиливает пониманием приобретенные интеллектом знания и применением абстрактных концепций. Следующий этап поиска пути решения поставленной задачи и принятия решения может быть осуществлен за счет использования приемов абсурдного мышления. Характерными результатами его использования являются такие качества как расширенное восприятие, активная рабочая память и воображение. При этом преподавателю необходимо только представить тему для творческой ее разработки с использованием приемов образного мышления. Творчество есть инструмент воспитания подвижного интеллекта, навыка и гибкого мышления.

Суть теории подвижного интеллекта раскрывается в работе Реймонда Кэттела и состоит в преобразовании усвоенного знания в навык [4]. Для этого предлагаются следующие педагогические инструменты (см. табл. 3):

Таблица 3

Педагогические инструменты для преобразования усвоенного знания в навык	
воспитание умения определить цель	развитие инициативы, стремление к обучению
развитие навыка саморегуляции как способности контролировать и управлять своими эмоциями (например, негативными)	педагогический переход от подвижного интеллекта к воспитанию кристаллизованного интеллекта
воспитание стремления к достижению цели ради достижения	

Таким образом, подвижный интеллект отличается от оперативно-цифрового интеллекта пониманием и применением абстрактных концепций. На основе приема абсурдного мышления он приступает к процессу поиска и принятия решения поставленной задачи. Характерными результатами его использования является приобретение таких качеств как расширенное восприятие, активная рабочая память и воображение.

Педагогический подход к развитию кристаллизованного интеллекта

Переход от подвижного интеллекта к кристаллизованному мы определяем как «коридор принятия решения».

Например, моделирование динамики перехода сознания обучаемого-личности к обучаемому-индивидуальности представлен следующими ступенями, которые укрепят приобретенные творческие навыки (см. табл. 4):

Таблица 4

Моделирование динамики перехода сознания обучаемого		
умение логически мыслить	исполнять функции оптимального выбора	увеличивать объем памяти при помощи синтеза дисциплинарных знаний
умение анализировать и оценивать ситуацию	применять методы абстрактного мышления	выкристаллизовывать идею
принимать варианты решения задач	распознавать причинно-следственные связи	извлекать результаты синтеза знаний при помощи навыков, сформированных при помощи подвижного интеллекта
увеличить словарный запас и вербальные способности	развить сообразительность за счет повышения темпа мышления и управления его ритмом	

Кристаллизованный интеллект позволяет достичь решения следующих задач (см. табл. 5):

Таблица 5

Задачи кристаллизованного интеллекта	
управление позитивным мышлением	стимулирование мышления на основе инициативных приемов
распознавание эмоциональных состояний	расширение зоны восприятия
осуществление пробуждение интереса к познанию и развитию креативного мышления на основе синтеза знаний	

«Коридор принятия решения» при переходе от кристаллизованного интеллекта к интуитивному интеллекту имеет смешанную модель (см. табл. 6, 7).

Таблица 6

Для обучаемого-стандартника	Для обучаемого-интуита
способность трансформировать мотивацию в инициативу	осознанное делание
поиск решения – в выбор решения	разумение
от высказывания перейти к обсуждению	расположение
умение определять свою цель	служение

Таблица 7

Для обучаемого-личности	Для обучаемого-индивидуальности
способность к позитивному мышлению	от восприятия к видению
способность к саморегуляции	от понимания к наполнению смыслом
способность от обсуждения перейти к суждению	от упражнения к действию
способность к управлению выстраивать отношения	от решения к проверке
способность выкристаллизовывать идеи на основе синтеза знаний	реализация идеи

Таким образом, проанализировав механизмы перехода между типами интеллектов, нами была разработана *универсальная модель для «коридора принятия решения»* (см. табл. 8):

Таблица 8

Универсальная модель для «коридора принятия решения»		
использование оценки и анализа	умение выкристаллизовывать идею	использование абстрактного мышления
умение управлять объемом памяти при помощи синтеза знаний	умение пользоваться функциями оптимального выбора	умение приступить к решению задачи при помощи инициативы
умение логически мыслить	распознавание причинно-следственных связей	увеличение темпа и варьирование ритмом мышления
увеличение словарного запаса и вербальных способностей		

«Коридор принятия решения» уводит сознание обучаемого от «угасания» памяти и торможения процессов мышления из-за устранения фактора наложения хаотических мыслей на мыслительный процесс при использовании кратковременной памяти.

Проработка «коридора принятия решения» – увеличивает продуктивность восприятия, а именно: при групповом обучении и обсуждении идет воспитание таких индивидуальных качеств как:

- открытость опыту;
- приобретение внутренней уверенности;
- раскрытие творческой способности к образному мышлению и открытию интуиции для принятия решения.

Таким образом, воспитание кристаллизованного интеллекта является основой для формирования интуитивного интеллекта, который состоит из стремления к просвещению, умению различения при выборе оптимального варианта решения, умению набирать навык поиска идей, согласно «коридору принятия решения».

Становление интуитивного интеллекта для прогнозирования и построения стратегии при принятии решения

Переход от кристаллизованного интеллекта к интуитивному возможен только при использовании метода синтеза наук в поиске стратегического решения.

Синтез наук является не только механизмом перехода, но и является обоснованием для моделирования ментальных конструкций при образном мышлении.

«Коридор принятия решения» будет способствовать в сознании обучаемого формированию предвидения возможных последствий после принятия идеи.

Например, обучаемый-стандартник, пользуясь оперативно-цифровым интеллектом создает базу данных на основе использования информации из разных научных направлений.

Обучаемый-личность интуитивно совершает логические операции на творческий поиск и обработку идеи, как программы-версии, освещаемых в разных направлениях наук.

Обучаемый-индивидуальность при прохождении «коридора принятия решения» обеспечит себе динамику перехода за счет следующих качеств:

- способность познавать;
- стремление к знаниям;
- использование объема памяти и логики с помощью прогнозирования;
- применение многоуровневой системы синтеза знаний.

Обучаемый-интуит при воспитании и становлении интуитивного интеллекта конкретизирует критерии для использования метода синтеза знаний при поиске выбора:

- вида деятельности (например: НИР, ИТ-технологии и т.д.);
- степени сформированности профессионала;
- оценка выбора и реализации в практике принятого решения при помощи интуиции и синтеза знаний;
- путей психологического развития одаренности и таланта.

Так как интуит в своем сознании пользуется всеми интеллектуальными уровнями, то следует различать его интеллектуальные уровни в сфере его психики, к которым относятся: сенсомоторные ощущения, предвидения; пространственно-визуальные конструкции в виде осознания пространственно-временного континуума; понятийно-логический переход к озарению через интуицию.

При формировании и становлении интуитивного интеллекта преподаватель на основе метода синтеза знаний пользуется составленной ранее «визитной карточкой» обучаемого и в процессе образования изучает его творческий потенциал и степень одаренности, чтобы при дальнейшем «разогреве» аудитории для активации мотивации использовать не только когнитивное мышление, но и абстрактное мышление. Это вызовет спонтанную реакцию в сознании, и интерактивное пространство аудитории становится его полем деятельности, в котором он совершит переход из состояния инертности к проявлению фрактального мышления.

Таким образом, переход от кристаллизованного интеллекта к интуитивному возможен только при использовании метода синтеза наук в поиске стратегического решения.

Список литературы:

1. <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%BD%82>
2. <https://blog.mann-ivanov-ferber.ru/2021/05/15/pochemu-plohaya-igra-v-kviz-nedelaet-vas-glupym-ili-chto-govoryat-uchenyie-o-tipax-intellekta/>
3. Рупанова А.М., Аимбетова Г.Е., Кашатфутдинова Г.Т. Взаимосвязь между стрессоустойчивостью и объемом рабочей памяти. – 2015.
4. Ганс Юрген Айзенк, Гордон Виллард Оллпорт, Реймонд Кеттел. Психология индивидуальности // Факторные теории личности. – 2007.
5. Энсис Е.И., Колесников В.П., Терехов В.В. «Психофизика сознания в условиях становления платформы перспективных форм образования» // Булатовские чтения: материалы V Международная научно-практическая конференция (31 марта 2022 г.), Т.2 – Краснодар : Издательский Дом – Юг. 2022. – 322 с.
6. Нефедовский В.А., Савицкий Ю.А., Терехов В.В. «Исследования в области развития пространственного мышления будущего военного летчика» // Гуманитарные и социальные науки. – Ротов-на-Дону, 2021. – № 2. – С. 226–237.
7. Варфоломеева С.В., Терехов В.В. Применение образовательных метаданных для овладения сравнительным методом и компаративным анализом в процессе изучения социально-гуманитарных дисциплин // Гуманитарные и социальные науки. – Ротов-на-Дону, 2020. – № 1. – С.178–186.
8. Савицкий Ю.А., Нефедовский В.А., Терехов В.В. «Современный взгляд на естественно-научную грамотность обучаемых» // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 3. – С. 405–408.
9. Колесников В.П., Энсис Е.И., Терехов В.В. Исследование инновационных образовательных технологий подготовки военных специалистов, основанных на методах получения информационных, механических и синтетических знаний : монография. – Краснодар, 2019. – С. 190.
10. Терехов В.В., Савицкий Ю.А., Степанова М.В., Али А. Теория вероятностей и пространство выборок // Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского. Сборник научных статей X Международной научно-практической конференции / Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова; Кубанский государственный технологический университет. – Краснодар, 2020. – С. 140–145.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ СЕПАРАТОРНЫХ УСТАНОВОК И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

**Голованов
Александр
Александрович**

**Краснодарское высшее военное авиационное
училище летчиков**
заместитель начальника цикла эксплуатации
авиационной техники
golovavia@mail.ru

Аннотация. В статье даётся анализ существующих установок молочных сепараторов, а также сепараторных установок совмещенной конструкции, разработанных с участием автора, в которых барабан сепаратора является одновременно и ротором асинхронного двигателя. Таким образом реализуется кинематическая схема прямого привода без промежуточной зубчатой передачи.

Ключевые слова: энергоэффективность, сепаратор, электропривод, кинематическая схема, энергетические показатели, электропривод.

Электропривод сепараторов различного типа и назначения имеет общие особенности, состоящие в необходимости передачи большого количества кинетической энергии рабочему органу в период пуска.

Это обусловлено большими значениями момента инерции барабана, при высокой частоте вращения. Поэтому потребная мощность двигателя для обеспечения пуска барабана в приемлемое время (3–10 мин) в 2–3 раза превышает мощность, необходимую для обеспечения процесса сепарирования. Из этого следует, что двигатель, выбранный по условию обеспечения надежного пуска сепаратора, в рабочем режиме загружен лишь на 30–50 % и работает при энергетических показателях, значительно худших, чем номинальные показатели двигателя. Улучшение показателей в рабочем режиме может быть обеспечено облегчением процесса пуска.

Одним из способов облегчения пуска сепаратора является установка муфты скольжения, позволяющей по мере разгона двигателя, обеспечить примерное постоянство пусковой мощности на валу электродвигателя. Вначале двигатель преодолевает трение в муфте при неподвижной ведомой части ее. При некоторой частоте вращения двигателя (частоте подхвата), начинается процесс сцепления ведущей части муфты с ведомой. С этого момента двигатель перестает увеличивать свою частоту вращения и начинает ускорять барабан сепаратора.

Для привода серийных отечественных и большинства зарубежных центрифуг и сепараторов, применяются асинхронные с короткозамкнутым ротором двигателя химовластойкого исполнения на 50–60 Гц. Это обусловлено высокой надежностью и простотой эксплуатации и ремонта асинхронных двигателей. Для облегчения пускового режима этих электродвигателей применены центробежные фрикционные муфты. Это усложняет и удорожает конструкцию [1].

В связи с этим имели место попытки применения коллекторных двигателей, позволяющих получить необходимые частоты вращения барабана без применения мультипликаторов или преобразователей частоты.

Но эти установки оказались практически неработоспособными из-за нестабильности частоты вращения барабана, при колебаниях расхода (подкачки) продукта, чрезмерных вибраций, затруднения коммутации на коллекторе (особенно в условиях повышенной влажности и химической агрессивности среды), отличались высокой стоимостью электродвигателя и сложностью эксплуатации.

Имели место и работы по применению в безредукторных сепараторах двигателя двойного питания в каскаде с асинхронным двигателем. Но такая схема по похожим причинам не нашла широкого применения.

Дальнейшее совершенствование безредукторная конструкция приводов сепараторов получила в СССР. В начале 60-х годов по инициативе Краморова Ю.И. были

разработаны и изготовлены первые экспериментальные образцы сепараторов с асинхронным электроприводом повышенной частоты тока [2].

В настоящее время в качестве источника повышенной частоты применяются преобразователи частоты для питания асинхронного двигателя сепаратора. При применении нерегулируемых тиристорных преобразователей для снижения нагрева двигателя при прямом пуске применяют гидродинамическую разгонную муфту. При этом ввод гидромуфты в состав высокоскоростного электропривода сепараторов способствует повышению эффективности сепарирования из-за снижения вибрации барабана [3]. Краморовым Ю.И., и Гайтовым Б.Х. в 70-х годах были разработаны и испытаны первые образцы безредукторных сепараторов типов СПМФ-2000 производительностью 2 м³/ч и ОСП-3М производительностью 3 м³/ч. [4]. Безредукторные сепараторы имеют лучшие массогабаритные показатели, шум и вибрации при работе.

В дальнейшем профессором Гайтовым Б.Х. и его учениками была предложена концепция сепаратора, в которой барабан и ротор асинхронного электродвигателя представляют единое целое, а также была обоснована аксиальная конструкция подобной установки [5, 6].

Большинство современных серийно выпускаемых сепараторов имеют кинематическую схему с цилиндрической зубчатой передачей для изменения оси вращения (рис. 1).

Тенденция современного сепараторостроения, заключающаяся в повышении единичных мощностей и частот вращения, остро ставит вопрос разработки электроприводов мощностью 100 кВт и более. Естественно, редукторные электроприводы не могли удовлетворять этому требованию. Эти проблемы пытались решить с помощью электропривода с конической передачей и электропривода с шестеренчатой передачей конструкции с двумя горизонтальными валами и установленными на них демпфирующими устройствами, позволяющими компенсировать неравномерность нагрузки. Однако зубчатая передача ухудшает надежность и имеет большие виброактивность и шумность [6].



Рисунок 1 – Сепаратор-молокоочиститель Ж5-Плава-ОО-30

Высокий пусковой момент, требующийся для сепараторов приводит к необходимости завышения номинальной мощности электродвигателя. В результате двигатель таких установок работает с низким коэффициентом загрузки (обычно не более 50 %). Это приводит к значительному ухудшению энергетических показателей (КПД и коэффициента мощности). Проблема решается установкой гидромуфты, но это сразу усложняет и удорожает установку. Для решения задач по улучшению массогабаритных и виброшумовых характеристик была предложена конструкция аксиальной сепараторной установки, в которой барабан сепаратора является одновременно ротором асинхронного двигателя электропривода сепаратора [6, 7]. Массивный ротор обеспечивает большой пусковой момент и меньший пусковой ток. Однако массивный ротор заметно снижает энергетические показа-

тели электропривода – коэффициент мощности и КПД. А также имеет значительно больший ток в установившемся режиме относительно асинхронного электропривода с короткозамкнутым ротором.

В настоящее время установка с такими энергетическими характеристиками не будет востребована на рынке. Кроме того, аксиальная конструкция приводит к необходимости большего воздушного зазора. Так как вал закреплен только с одной стороны, люфт подшипников может привести к соприкосновениям магнитопроводов статора и ротора. Для компенсации приходится увеличивать зазор. Увеличение воздушного зазора приводит к увеличению тока намагничивания, и как следствие, увеличению потерь в меди статора, а также к снижению коэффициента мощности.

Что естественно привело к мысли создать конструкцию, которая бы объединяла бы достоинства аксиальной конструкции с ротором-барабаном и высокими энергетическими показателями асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (рис. 2).

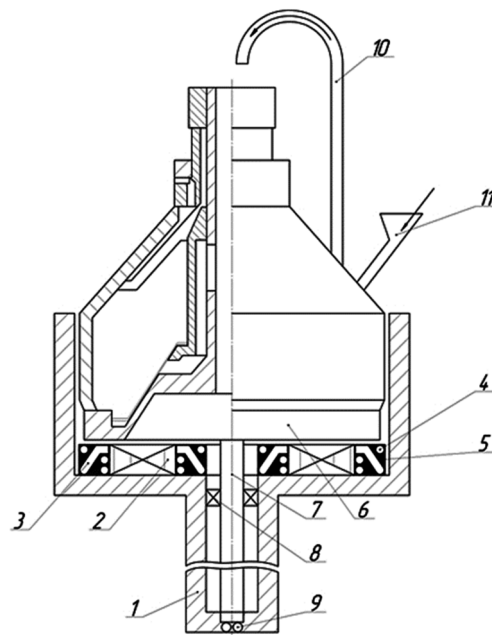


Рисунок 2 – Сепаратор

Сепаратор для молока (рис. 2), содержит корпус 1, смонтированный в нем аксиальный статор 2 электродвигателя с обмоткой 3, вокруг лобовых частей которой установлены трубки 4, ведущие от емкости 11, замоноличенные компаундом 5 и барабан 6, являющийся одновременно ротором электродвигателя, жестко связанный с валом 7. Вал установлен в двух подшипниковых опорах – горловой 8 и упорной 9. Выход трубок соединен с внутренней частью сепаратора трубопроводом 10.

Статор электродвигателя в сепараторе для молока расположен под нижней торцевой поверхностью барабана сепаратора. Это позволяет частично использовать выделяемое в статоре тепло для подогрева сепарируемой жидкости, подогрев которой происходит в нижней части сепаратора, расположенной над торцевой поверхностью аксиального статора электродвигателя за счет нагрева части барабана вихревыми токами. Однако, сепарируемое молоко находится в нижней части барабана сравнительно непродолжительное время. В связи с этим, нагрев сепарируемого молока за счет ее соприкосновения с нагреваемой торцевой поверхностью барабана сепаратора происходит сравнительно непродолжительное время.

Основной отбор тепла для предварительного подогрева молока осуществляется прокачкой его через трубки 4, расположенные в статоре. Затем молоко подается в штатный подогреватель. Предварительный подогрев молока за счет тепла потерь статора снижает расход энергии в подогревателе [8, 9].

Анализ отечественных источников показывает, что разработок конструкций сепараторов молока, основанных на новых кинематических схемах в современной Рос-

сии нет. Анализ зарубежных источников показывает то же самое, но, возможно какие-то разработки являются экономической тайной и не публикуются.

Также анализ показывает, что исследования в области энергоэффективности сепараторов ведутся в основном в направлении более оптимального частотного управления электроприводом, поисками оптимальных параметров работы электроприводов и т.п.

Таким образом, проанализировав существующие установки сепарирования молока можно сделать следующие выводы:

– установки с безредукторным электроприводом и частотным управлением более всего отвечают современным требованиям, однако их массогабаритные характеристики не вполне удовлетворительны и их можно улучшить. Кроме того, в таких установках имеются определенные проблемы с механической частью (радиальные биения, как следствие больших линейных размеров по оси двигатель-барабан);

– серийно выпускающиеся сепараторы с конической зубчатой передачей в кинематической схеме имеют низкие показатели энергоэффективности, низкую надежность и высокие виброшумовые характеристики в силу наличия зубчатой передачи в электроприводе;

– разработка новых конструкций сепараторных установок с более простой кинематической схемой (как следствие со сниженными затратами на эксплуатационное обслуживание), имеющих лучшие массогабаритные и энергетические характеристики является актуальной народно-хозяйственной и научно-технической задачей отвечающей стратегии продовольственной безопасности России.

Список литературы:

1. Икоева Э.Ю. Разработка и обоснование параметров привода безредукторного молочного сепаратора для фермерских хозяйств : дис. ... канд. техн. наук. – Владикавказ, 2004. – 146 с.
2. Краморов Ю.И. Высокоскоростные машины в с.х. (Теория, расчет, конструкция). – Краснодар, 1970.
3. Марзаганов А.М. Исследование динамики центрифуг с приводом барабана от электродвигателя повышенной частоты через гидромуфту : кандидатская диссертация. – Орджоникидзе, 1971.
4. Гайтов Б.Х. Управляемые двигатели-машины. – М. : Машиностроение, 1981. – 183 с.
5. Разработка нового вида энергосберегающей установки для переработки нефти / Б.Х. Гайтов [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 3 (246). – С. 103–108.
6. Пахомов С.В. Параметры и характеристики электропривода молочных сепараторов с аксиальным двигателем : дисс. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2003. – 180 с.
7. Установки для сепарации нефти на базе двигателя-сепаратора / Б.Х. Гайтов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 7. – С. 90–92.
8. Энергосберегающая установка для сепарирования нефти и определения ее параметров / Б.Х. Гайтов [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019 – № 4 (120) – С. 58–62.
9. 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.

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Григораш
Олег Владимирович**

Кубанский государственный аграрный университет
заведующий кафедрой электротехники, теплотехники
и ВИЭ, доктор технических наук, профессор
grigorasch61@mail.ru

**Азарян
Александр Ашотович**

Кубанский государственный аграрный университет
ассистент кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ
sashiko.az@yandex.ru

**Барышев
Петр Михайлович**

Кубанский государственный аграрный университет
магистр факультета энергетики
petiabaryshev@mail.ru

Аннотация. Раскрываются значение, проблемы и перспективы возобновляемой энергетики на современном этапе развития научно-технического прогресса. Показано её влияние на экологические, социальные и экономические аспекты общества.

Ключевые слова: ветро-солнечные электростанции, малые фермерские хозяйства, автономные потребители электроэнергии.

Непрерывное улучшение эксплуатационно-технических и технико-экономических показателей основных функциональных элементов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) имеет важное значение для их применения практически во всех отраслях.

Потребность в ВИЭ постоянно растет в основном по двум причинам: ограниченные запасы традиционного топлива и быстрые темпы изменения климата на планете Земля. Поэтому наблюдается значительный рост инвестиций в ВИЭ. Таким образом, новые технические решения конструктивных элементов и технологий позволит увеличить уровень инвестиций в эту отрасль [1].

Сегодня практически решен вопрос с аккумулированием энергии, получаемой от ВИЭ, она храниться и в последствии может использоваться в периоды высокого спроса благодаря развитию высокоэффективных технологий накопления энергии в аккумуляторных и гидроаккумулирующих установках. Дальнейшее развитие технологий хранения энергии окажет большое влияние на будущее солнечной энергетики.

Выбросы углерода, оказывающий влияние на изменение климата, можно значительно сократить за счет применения ВИЭ. Чем активнее будут внедряться ВИЭ, тем быстрее произойдет сокращение выбросов углерода. Сегодня и в будущем основу развития ВИЭ будет составлять, прежде всего, солнечная энергетика, и ветровая энергетика.

Сегодня развитие практически всех стран в значительной степени зависят от ископаемого топлива, переход на ВИЭ позволит снизить цены на энергию и расширить доступ к ней. Растущее темпы применения ВИЭ, в том числе и в развивающихся странах, будут способствовать развитию новых отраслей, что в конечном итоге приведёт к появлению новых рабочих мест и в целом окажет влияние на экономический рост. С увеличением инвестиций в ВИЭ возрастет также потребность в квалифицированном персонале в таких отраслях, как проектирование, производство и монтаж. В результате расширения сектора возобновляемой энергетики могут появиться новые распределительные сети и вспомогательные отрасли.

В настоящее время огромный потенциал имеют децентрализованные (автономные) источники энергии. Имея собственные автономные источники энергии (АИЭ), выполненные на базе ВИЭ люди и сообщества могут самостоятельно производить электрическую и тепловую энергию и уменьшить свою зависимость от традиционной электросети. Возрастает рентабельность сельскохозяйственного производства за счёт

применения АИЭ на ВИЭ в малых фермерских хозяйствах, а также населенных пунктах, удаленных от внешней энергетической системы [1, 2].

От государственной политики правительств зависит темпы и качество развития ВИЭ. Инвестиции в ВИЭ могут быть стимулированы нормативными актами, включающими льготные тарифы и налоговые льготы. Правительства также могут финансировать исследования и разработку новых технологий в области ВИЭ.

Переход на ВИЭ окажет значительное влияние на энергетический сектор. Общая цена производства оборудования и технологий применения возобновляемой энергетики будет снижаться по мере того, как в них будет инвестироваться все больше средств, что сделает их более доступными по сравнению с традиционными источниками энергии. По прогнозам, уже к 2040 году основную долю энергии будут производить возобновляемые источники. Углеводороды к этому времени отойдут на второй план. Эта трансформация необходима будет для устойчивого развития экономик стран, хотя она и потребует значительных изменений в существующей энергетической инфраструктуре.

В общем случае ВИЭ имеют следующие основные достоинства и их перспективы развития связаны со следующими факторами:

- сохранение природных ресурсов, за счёт неисчерпаемости ВИЭ;
- сокращение выбросов парниковых газов, производство энергии ВИЭ не оказывает влияние на окружающую среду;
- минимизировать риски за счёт диверсификации энергетических источников, поскольку ВИЭ снижают зависимость от традиционных источников, что в свою очередь повысит энергетическую безопасность и снизит риски, связанные с изменениями цен на нефть и газ.

Значимость развития ВИЭ также связана:

- с созданием новых рабочих мест в секторе производства, установки, эксплуатации и обслуживания оборудования возобновляемой энергетики;
- с экономической выгодой, поскольку сокращение затрат на энергию и инвестиции в ВИЭ позволят снизить стоимость производства электроэнергии и повысить рентабельность (эффективность) производства.

Таким образом, перспективы развития ВИЭ в будущем являются очень обнадеживающими. С учетом того, что цены на оборудование и технологии, применяемые в возобновляемой энергетике, продолжают снижаться, то применение ВИЭ становятся все более доступными и экономически выгодными. А это в свою очередь приведёт к сокращению выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ, что положительно скажется на состоянии окружающей среды и здоровье людей.

Однако следует также отметить, что развитие ВИЭ также может повлечь за собой некоторые вызовы для общества. Например, производство и утилизация технологий, используемых в ВИЭ, могут иметь определенные негативные последствия для окружающей среды, если не будут приняты соответствующие меры по управлению отходами. Кроме того, развитие ВИЭ может потребовать больших инвестиций со стороны правительства и частного сектора, что может быть непросто в условиях экономической неопределенности.

В целом, можно сделать вывод, что развитие ВИЭ имеет значительный потенциал для того, чтобы положительно повлиять на экологические, социальные и экономические аспекты общества. Однако важно учитывать проблемы и вызовы, которые могут возникнуть на пути этого развития, и работать над их решением с учетом интересов всех заинтересованных сторон.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/27.

Список литературы:

1. Григораш О.В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края / О. В. Григораш, А. А. Хамула, А. В. Квитко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 92. – С. 630–641.
2. Юдаев И.В. Солнечная электроэнергетика Юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития / И.В. Юдаев, Ю.В. Даус // В сборнике: Альтернативная энергетика в регионах России «АЭР-2018». – 2018. – С. 45–49.

УДК 620.92

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

**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
доцент кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ,
кандидат технических наук
denisenko_88@mail.ru

**Таразанов
Валерий Иванович**

Кубанский государственный аграрный университет
магистр
tarazanov.valera13@gmail.com

Аннотация. Приведены аналитические выражения для расчёта энергетических показателей солнечных батарей с учётом уровня солнечной радиации, расчёта ёмкости аккумуляторных батарей, максимальной мощности и КПД солнечной фотоэнергетической установки.

Ключевые слова: солнечная фотоэнергетическая установка, солнечные батареи, аккумуляторные батареи, фотопреобразователь.

В качестве исходных данных для расчета энергетических показателей солнечной фотоэнергетической установки (СФЭУ) берется приход солнечной радиации Q_α за каждый месяц, поступающей на поверхность (наклоненную под углом α) [1, 2]:

$$Q_\alpha^{\text{сут}} = Q_\alpha / n, \quad (1)$$

где Q_α – суммарная солнечная радиация за месяц; n – число дней в месяце.

Определив по (1) значение прихода солнечной радиации, далее определяется выработка электроэнергии одной солнечной батареей (СБ) за сутки:

$$W_{\text{СБ}} = Q_\alpha^{\text{сут}} \cdot S \eta, \quad (2)$$

где S – площадь одной СБ, м²; η – коэффициент полезного действия СБ, %.

Вырабатываемая электроэнергия $W_{\text{СФЭУ}}$ за сутки всеми СБ, определяется по формуле [3]:

$$W_{\text{СФЭУ}} = W_{\text{СБ}} \cdot n, \quad (3)$$

где n – количество СБ.

Следующим этапом расчёта является определение электроэнергии, которая запасается в аккумуляторными батареями (АБ) за сутки от СБ:

$$W_{\text{АБ}} = W_{\text{СБ}} \cdot \eta_{\text{АБ}} \cdot \eta_{\text{Б}} \cdot K_{\text{П}}, \quad (4)$$

где $\eta_{\text{АБ}}$ – КПД аккумуляторной батареи, %; $\eta_{\text{Б}}$ – КПД блока зарядки-разрядки АБ, %; $K_{\text{П}}$ – коэффициент потерь электроэнергии в проводах, %.

Поскольку для увеличения срока службы АБ, уровень разряда не должен превышать 30–40 %, емкость АБ рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{АБ}} = \frac{W_{\text{АБ}}}{U_{\text{АБ}}} \cdot \frac{100\%}{30\%}, \quad (5)$$

где U_{AB} – номинальное напряжение АБ, В.

Далее определяется мощность нагрузки с учётом следующих ограничений [3, 4]:

– нагрузка должна быть такой мощности, чтобы разрядный ток АБ был не менее 5 % от емкости батареи;

– нагрузки должно быть такой, чтобы за это время потребленная электроэнергия она не израсходовала энергию АБ за сутки.

Основной энергетической характеристикой СБ является максимальная выходная мощность $P_{\text{макс}}$ в конкретных климатических условиях эксплуатации.

Максимальная удельная мощность СБ определяется по формуле:

$$P_M = U_{xx} I \zeta, \quad (6)$$

где U_{xx} – напряжение холостого хода, В; I – ток СБ, А; ζ – коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики.

Основными величинами от которых зависит максимальная выходная мощность СБ, являются: интенсивность солнечного излучения, спектральный состав излучения и профиль освещенности.

Солнечная радиация излучение, является источником энергии для СБ, которая достигает поверхности СБ по неуправляемому закону, который зависит от климатических условий территории, время и года, на которой размещается СФЭУ. Поэтому на первом этапе проектирования СФЭУ проводится оценка, поступающей общей энергии на поверхность Земли.

Сведения о спектральном составе и его изменение, в зависимости от Климатических условий и времени суток достаточно хорошо изучены и имеются в справочной литературе. Важный факт: максимальная эффективность всех кремниевых СБ приходится на 0,7–0,9 мкм, в то время как наиболее значительные изменения в спектре солнечного излучения в зависимости от времени дня и внешних условий наблюдаются в областях электромагнитных инфракрасных и ультрафиолетовых излучениях. Таким образом, эффективность фотопреобразования СБ не зависит от изменения спектрального состава солнечного излучения.

Профиль освещенности определяет солнечную радиацию, поступающую на СБ в течение дня. Он зависит от угла между направлением на Солнце и поверхностью расположения СБ. Для СБ, имеющей заданные координаты широты и долготы, траектория описания движения Солнца по небосводу и определение продолжительности солнечного излучения могут быть рассчитаны.

КПД СБ определяется, как отношение максимальной мощности, снимаемой с единицы площади, к интенсивности падающего излучения I :

$$\eta = \frac{AkT}{q} \cdot \frac{J_{\phi}}{I} \cdot \zeta \cdot \eta \left(\frac{J_{\phi}}{J_0} + 1 \right), \quad (7)$$

где $A = 1-2$ – безразмерный параметр, определяется в соответствии со свойствами р-п перехода фотопреобразователя СБ; k – постоянная Больцмана; T – рабочая температура фотопреобразователя, К; q – заряд электрона; J_{ϕ} – удельный показатель фототока, пропорционального интенсивности солнечного излучения, А/см²; J_0 – удельный показатель обратного тока насыщения, зависящий от свойства полупроводника и технологии изготовления фотопреобразователя, А/см².

Таким образом, рассмотренная методика упрощенного расчёта энергетических параметров СФЭУ повысить эффективность предпроектных работ по разработке энергоэффективного возобновляемого источника электроэнергии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/27.

Список литературы:

1. Новая элементная база возобновляемых источников электроэнергии : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 202 с.
2. Энергоэффективные и энергосберегающие автономные системы электропитания на ветро-солнечных электростанциях для малых фермерских хозяйств : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 180 с.
3. Денисенко Е.А. Особенности проектирования солнечных фотоэнергетических станций : монография / Е. А. Денисенко, П. М. Барышев. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – 120 с.
4. Усков А.Е. Автономные инверторы солнечных электростанций : монография. – Краснодар : КубГАУ, 2011. – 126 с.

УДК 621.9.047/048; 621-039-419; 620.22-419

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА ПРОЧНОСТЬ МОНОСЛОЯ УГЛЕПЛАСТИКА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ**Злобина
Ирина Владимировна****Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.**
канд. техн. наук, доцент
**Научный исследовательский центр
«Курчатовский институт»**
научный сотрудник
zlobinaiv@sstu.ru**Бекренев Н.В.****Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.**
д-р техн. наук, профессор
nikolaj.bekrenev@yandex.ru**Чуриков
Данила Олегович****Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.**
студент
danilachurikov@mail.ru

Аннотация. В работе приведены результаты воздействия ультразвука на монослой углепластика, полученные методом 3D печати. Отмечено повышение прочности опытных образцов, прошедших обработку в течение 15 с. Полученный упрочняющий эффект объяснен посредством отличий микроструктуры опытного и контрольного образцов.

Ключевые слова: углепластик, 3D печать, ультразвук, микроструктура, связующее.

Широкое применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в различных отраслях промышленности, среди которых авиационная, ракетно-, судостроительная, энергетическая, обуславливает необходимость изучения их свойств и определение путей их улучшения [1].

Значительное количество ПКМ производится на основе термореактивных связующих. Это связано с хорошей смачиваемостью такими связующими поверхности наполнителя и, как следствие, более высокой адгезией [2]. При производстве и эксплуатации ПКМ необходимо учитывать, что именно адгезионное взаимодействие основных компонентов композитов в значительной степени определяет их прочностные характеристики [3]. Таким образом, модификация ПКМ, как правило, направлена на улучшение адгезии.

Большинство методов модификации ПКМ можно разделить на две основные группы – химические и физические. Химические основаны на введении дополнительных компонентов в состав связующих. Физические представляют собой использование таких воздействий, как ультразвук, СВЧ, ультрафиолет и других [4–5]. Их эффективность может быть снижена с течением времени и под воздействием механической обработки.

Таким образом актуальным представляется исследование влияния одного из физических методов модификации ПКМ – ультразвуковых колебаний, приложенных к образцам, в отвержденном состоянии.

В данной работе рассматривалось упрочняющее воздействие ультразвука (УЗ) на монослои углепластика, полученные путем печати на 3D принтере Anisoprint Composer A4, сформированные из однонаправленных углеродных волокон, пропитанных термореактивным связующим, в качестве которого была использована эпоксидная смола марки ЭД-20, соединение волокон между собой осуществлялось при их печати с использованием термопласта, в качестве которого использовали полиамид 6. Использовали 4 группы образцов – контрольный и 3 опытных, обработанные в течение 5, 10 и 15 с.

Ультразвуковую обработку образцов осуществляли на экспериментальной ультразвуковой установке с многочастотным ультразвуковым генератором, обеспечивающим частотный диапазон выходного напряжения 20–60 кГц с дискретностью регулировки 10 Гц, что обеспечивало точную настройку системы в резонанс.

Испытания на трехточечный изгиб проводили на образцах в соответствии с ГОСТ Р 56805-2015 с использованием цифрового пресса ПМ-МГ4 (СКБ «Стройприбор», г. Челябинск), позволяющего контролировать скорость нагружения и фиксировать текущие значения нагрузки и соответствующей деформации.

Изображения микроструктуры внешней и торцевой поверхностей образцов получали при помощи растрового электронного микроскопа MIRA II LMU Tescan (TESCAN ORSAY HOLDING, Чехия).

Обработку микрофотографий проводили с помощью системы анализа изображения Thixomet Lite (г. Санкт-Петербург).

Результаты испытаний образцов монослоя на трехточечный изгиб показали, что изгибная прочность объектов при времени воздействия УЗ в течение 5 и 10 с повышается при увеличении амплитуды колебаний. При максимальном времени наибольшее значение напряжения изгиба приобретают при сочетании факторов – средняя амплитуда (8 мкм) УЗ колебаний и времени обработки 15 с.

Полученные результаты сопровождаются изменением микроструктуры материала.

На приведенных микрофотографиях (рис. 1) выделены и залиты оттенками серого элементы связующего, что основано на принадлежности к той или иной группе размеров применительно к данному образцу.

Необходимо отметить, что большую часть полимера в составе исследуемых образцов составляет термопласт. Это уточнение является важным в связи с отличием в свойствах термо- и реактопластов. Термопласты обладают большей податливостью при температуре +22 °С, тогда как реактопласты в случае приложения силового воздействия высокой частоты в тех же условиях, больше склонны проявлять хрупкость.

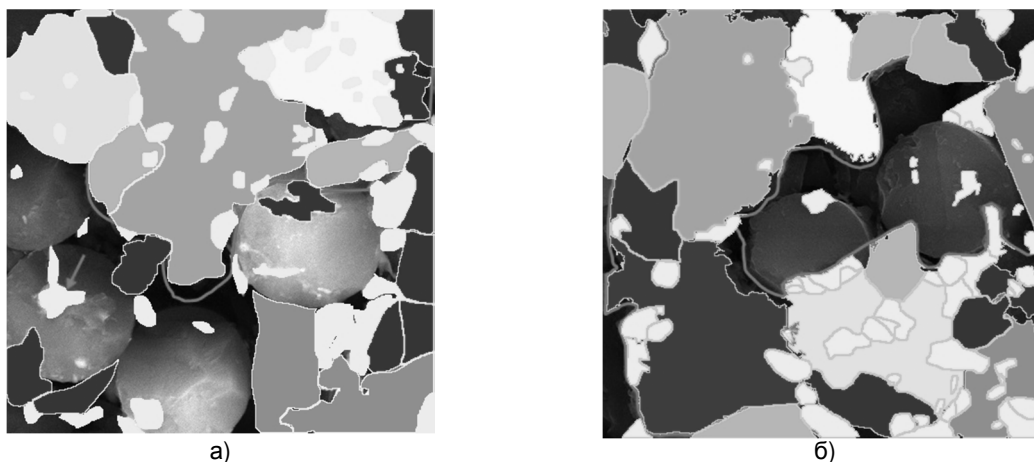


Рисунок 1 – РЭМ микрофотографии (x1000) торцевой поверхности монослоя, обработанные в системе анализа изображения Thixomet Lite: контрольный образец (а), образец после ультразвукового воздействия (б)

Микроструктура опытного образца характеризуется большим числом элементов связующего, их размеры более мелкие. Разнородность матрицы по размеру частиц имеет место, однако выражена в меньшей степени, чем у контрольного образца.

На приведенных микрофотографиях области контакта связующего и наполнителя хорошо прослеживаются, у опытного образца связующее несколько закрывает часть торца одного из волокон, что могло произойти в следствии воздействия УЗ колебаний на образец.

Таким образом, показана эффективность влияния ультразвуковых колебаний на отвержденные образцы монослоя углепластика, полученного методом 3D печати. Оказанное воздействие является силовым, осуществляемым с высокой частотой. Оно позволяет корректировать микроструктуру исследованных образцов в части снижения

дисперсности элементов связующего. Наплыв связующего, отмеченный на микрофотографии опытного образца, позволяет предполагать, что при воздействии ультразвука также происходит повышение температуры в зоне обработки, что повышает восприимчивость образцов к данному методу воздействия.

Аналитические исследования выполнены с использованием научного оборудования ЦКП «Исследовательский химико-аналитический центр НИЦ «Курчатовский институт».

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 23-79-00039 «Обоснование методологии комплексного модифицирования композиционных материалов для экстремальных условий эксплуатации на основе изучения фазово-структурных превращений под влиянием электрофизических воздействий различного частотного диапазона».

Список литературы:

1. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
2. Гарифуллин А.Р., Абдуллин И.Ш. Современное состояние проблемы поверхностной обработки углеродных волокон для последующего их применения в полимерных композитах в качестве армирующего элемента // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 7. – С. 80–85.
3. Адгезия в композиционных материалах: термины и физическая сущность / В.П. Кузнецов [и др.] // СибСкрипт. – 2014. – № (2-1). – С. 173–177.
4. Влияние ультразвуковых колебаний на структуру полимерного композиционного материала / Д.А. Негров [и др.] // Техника и технологии машиностроения : Материалы X Международной научно-технической конференции, Омск, 26–28 апреля 2021 года. – Омск : Омский государственный технический университет. – 2021. – С. 80–83.
5. Пятаев И.В., Студенцов В.Н. Изучение влияния обработки СВЧ излучением исходных препрегов на прочностные характеристики материалов на основе эпоксидной смолы, армированной различными нитями // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 1979.

УДК 620.92

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

**Ивановский
Олег Яркович**

**Краснодарское высшее военное училище
имени генерала армии С.М. Штеменко
независимый исследователь**

Аннотация. Предложено структурно-схемное решение автономной системы электро-снабжения, выполненной на возобновляемых и традиционных источниках.

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, солнечная фотоэнергетическая установка, ветроэнергетическая установка.

Повысить энергоэффективность автономных систем электроснабжения (АСЭ) можно за счёт использования в её структуре несколько источников энергии, включая возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Перспективным является направление применения в составе АСЭ солнечных фотоэнергетических установок (СФЭУ) и ветроэнергетических установок (ВЭУ). За последнее десятилетие значительно улучшились эксплуатационно-технические и технико-экономические показатели этих источников [1, 2]. При этом, ВЭУ должны быть с вертикально-осевыми ветроколесами (роторного типа). Эти установки генерируют электроэнергию при скоростях ветра от 1,5 м/с и независимо от его направления [3]. Кроме того, в составе ВЭУ должны использоваться бесконтактные генераторы электроэнергии – синхронные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов [4]. В качестве резервных источников в составе АСЭ должны применяться бензогенераторы (БГ) или дизельные электростанции (ДЭС). При выборе резервного источника необходимо учитывать, что бензогенераторы имеют значительно меньший ресурс работы в сравнении с ДЭС, но стоимость ДЭС, при одной и той же мощности источников в 6–8 раз больше. Аккумуляторные батареи (АБ) могут применяться в качестве аварийного источника электроэнергии. При наличии в составе АСЭ возобновляемых и одного из традиционных источников АБ будут иметь не большую емкость.

Структурная схема энергоэффективной АСЭ, выполненная на базе рассмотренных источников электроэнергии, приведена на рисунке 1. ВЭУ генерирует напряжение постоянного тока. На рисунке 1 обозначены: АИ – автономный инвертор, преобразующий постоянный ток в напряжение переменного тока; 1 и 2 – выходы для подключения потребителей электроэнергии постоянного и переменного тока, соответственно. Мощность источников электроэнергии АСЭ, если брать пиковую нагрузку за 100 %, в общем случае должна быть распределена следующим образом: 50 % – СФЭУ; 20 % – ВЭУ; 30 % – БГ или ДЭС; 5 % – АБ.

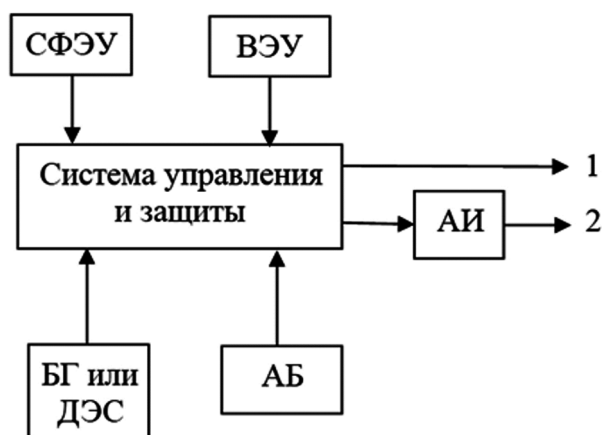


Рисунок 1 – Структурная схема АСЭ

Система управления и защиты осуществляет контроль солнечного и ветрового потенциала, параметров нагрузки, формирует команды на подключение или отключение источников электроэнергии, а также обеспечивает защиту функциональных элементов АСЭ от токов перегрузки и короткого замыкания.

Выбор оптимального состава оборудования АСЭ, определяется требованиями потребителей электроэнергии к надёжности электроснабжения и качеству электроэнергии. Важным является вопрос повышения общего КПД системы. Этот показатель нужно учитывать при выборе функциональных элементов АСЭ. Если КПД СФЭУ и ВЭУ находится в пределах от 15 до 20 %, КПД АИ – 90–95 %, то КПД ДЭС можно определить по формуле:

$$\eta_1 = \frac{P_1}{\left(K_{xx} G_H + (1 - K_{xx}) G_H \frac{P_1}{P_{1H}} \right) H}, \quad (1)$$

где G_H – номинальный расход топлива станции, л/кВт; P_1, P_{1H} – мощность нагрузки станции и номинальная мощность соответственно; K_{xx} – коэффициент, характеризующий топливопотребление дизеля на холостом ходу; H – поправочный коэффициент, величина которого определяется качеством топлива.

Важным показателем при оценке эффективности АСЭ является выработка энергии ВИЭ. Годовая выработка энергии ВЭУ $W_{ВЭУ}$, кВт·ч определяется по формуле:

$$W_{ВЭУ} = 0,0019 \xi_{ср} \rho S v^3_{ср} \eta_r T, \quad (2)$$

где T – время работы ветрогенератора в год; $\xi_{ср}$ – среднее значение коэффициента использования энергии ветра; S – площадь, ометаемая ветроколесом; ρ – плотность воздуха; η_r – КПД генератора.

Для надёжного электроснабжения потребителей электроэнергией необходимо чтобы энергия, вырабатываемая ВЭУ была больше или равна энергии, потребляемой потребителями, т.е. должно выполняться условие:

$$W_{ВЭУ} \geq W_{потр}. \quad (3)$$

В общем случае энергия, вырабатываемая СФЭУ за определённый период, как правило, сутки, неделю, месяц, сезон или год, определяется по формуле:

$$W_{СФЭУ} = S_{СБ} \eta_{СБ} \sum_{i=1}^n N_{Сии} t_i, \quad (4)$$

где $S_{СБ}$ – суммарная площадь солнечных батарей, м²; $\eta_{СБ}$ – КПД солнечных батарей; $N_{Сии}$ – интенсивность солнечного излучения в i -ый период, Вт/м²; t_i – продолжительность i -го периода, ч; n – число периодов.

Важным показателем является энергия, потребляемая всеми потребителями в течение суток $W_{сут}$ (кВт·ч) для определения номинальной мощности СФЭУ. Для покрытия суточной нагрузки должно выполняться условие:

$$W_{СФЭУ} = 365 \cdot W_{СУТ} K_{ЗРАБ}, \quad (5)$$

где $K_{ЗРАБ} \approx 1,2$ – коэффициент, учитывающий потери на заряд-разряд АБ.

Используя формулы (4) и (5) определяется общая площадь СБ по формуле:

$$S_{СБ} = \frac{365 \cdot W_{СУТ} K_{ЗРАБ}}{\eta_{СБ} \sum_{i=1}^n N_{Сии} t_i}. \quad (6)$$

Для повышения энергоэффективности АСЭ необходимо также составить график нагрузки работы потребителей электроэнергии, разграничив время их работы, таким образом, чтобы уменьшить величину пиковой мощности.

Таким образом, предложенное структурно-схемное решение АСЭ, выполненной на базе ВИЭ, рассмотренные аналитические выражения для расчёта основных энергетических показателей системы, а также оптимизируя режимы работы потребителей электроэнергии можно повысить энергетическую эффективность систем электроснабжения, обеспечивающих электроэнергией автономные потребители.

Список литературы:

1. Новая элементная база возобновляемых источников электроэнергии : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 202 с.
2. Усков А.Е. Автономные инверторы солнечных электростанций : монография. – Краснодар : КубГАУ, 2011. – 126 с.
3. Денисенко Е.А. Особенности проектирования солнечных фотоэнергетических станций : монография / Е.А. Денисенко, П.М. Барышев. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – 120 с.
4. Энергоэффективные и энергосберегающие автономные системы электроснабжения на ветро-солнечных электростанциях для малых фермерских хозяйств : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 180 с.

УДК 621.31

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Кашин Яков Михайлович	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрических машин jlms@mail.ru
Самородов Александр Валерьевич	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехники и электрических машин alex.samorodoff@gmail.com
Томи Шейх	Кубанский государственный технологический университет магистрант cheikhtawmi@gmail.com
Трескинская Анастасия Александровна	Кубанский государственный технологический университет магистрантка tress2001@mail.ru

Аннотация. В статье представлено описание моделирования энерговыработки солнечной электростанции и подбор оборудования.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, сетевые солнечные электростанции, моделирование энерговыработки, энергетические комплексы.

Ф отоэлектростанция (ФЭС) предназначена для производства электроэнергии от солнечных батарей в климатических условиях Краснодара и передачи ее потребителям, установленным в механическом цехе.

Целью является 100 % автономное обеспечение электроэнергией потребителей цеха используя только солнечную энергию. С помощью программного пакета Европейской Комиссии PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM [1], моделируем ежемесячную выработку энергии выбранными фотоэлектрическими системами.

Рассматриваемый цех имеет 576870,8 кВт·ч годовой расход электроэнергии. Для его ежемесячного расхода, мы разделим на 12 месяцев и получим: 48072 кВт·ч – средний расход электроэнергии в каждом месяце. Средний расход электроэнергии в сутки – 1602 кВт·ч

Ежемесячная энерговыработка солнечной батареи пиковой мощностью 350 кВт(пик) в метеоусловиях Краснодара при потреблении 48072 кВт·ч без запаса энергии при подключении к электрической сети (рис. 1).

Моделирование показывает, что при установке солнечных батарей на Юг под углом к горизонту 35 градусов энергии для месячного потребления будет вырабатываться достаточно только в июле, июне и августе. В остальные месяцы, нехватку энергии придется компенсировать от сети.

Энерговыработка солнечной батареи пиковой мощностью 470 кВт(пик) в метеоусловиях Краснодара при потреблении 1602 кВт·ч/сутки и запаса энергии в АКБ 3204 кВт·ч (100 % заряд) и допустимой глубине разряда (DOD) = 80 % показана на рисунке 2.

При такой мощности солнечных батарей вырабатываемой энергии для обеспечения потребителя 1602 кВт·ч/сутки будет близко к достаточному в период с июня по август включительно.

Диаграмма прогноза степени заряда аккумуляторной батареи от солнечной энергии изображена на рисунке 3.

При увеличении пиковой мощности солнечных батарей до 669 кВт, недостаток потребной электроэнергии сокращается.

При такой мощности солнечных батарей вырабатываемой энергии для обеспечения потребителя 1602 кВт·ч/сутки будет близко к достаточному в период с апреля по сентябрь включительно.

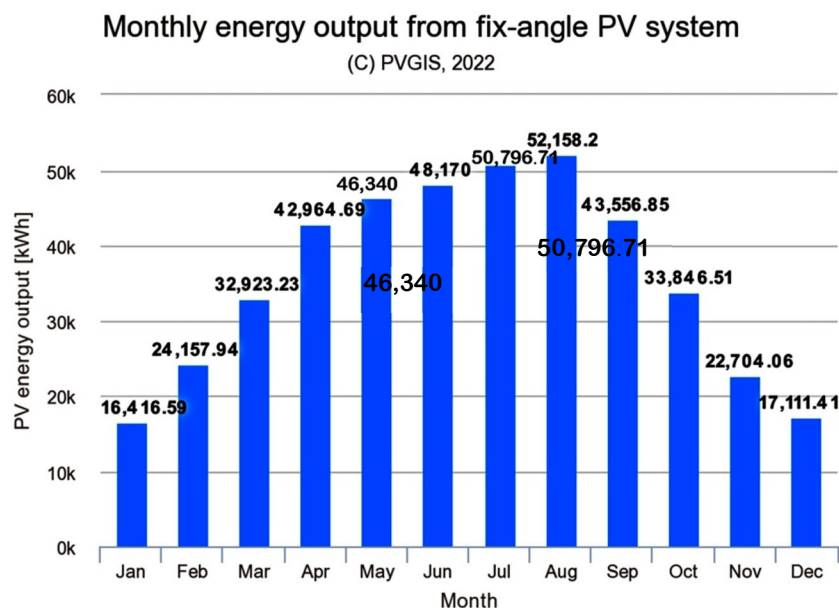


Рисунок 1 – Моделирование энерговыработки солнечной батареи

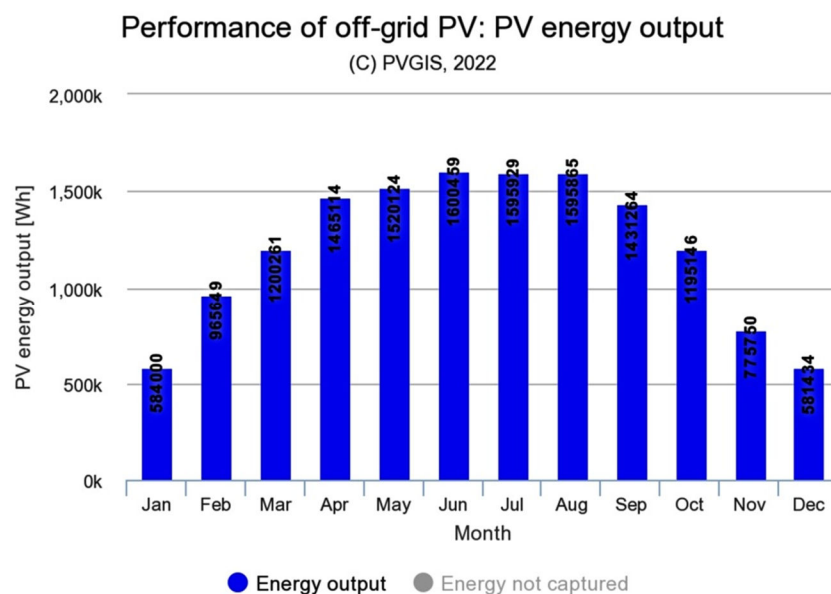


Рисунок 2 – Моделирование энерговыработки солнечной батареи

Из диаграммы (рис. 3) видно, что в летнее время полный заряд АКБ летом составит 60–80 % дней, т.е. 10–18 дней будет не полный заряд, но энергии в АКБ будет достаточно для автономной работы фотоэлектростанции без привлечения энергии от другого источника энергии, но в апреле, мае и сентябре потребуется получение энергии от внешних источников для пополнения больше 50 % недостающей энергии.

Подсчет стоимости основного оборудования в ценах 2023 года приведен в таблицах 1 и 2. Где в таблице 1 – подсчет стоимости оборудования ФЭС без резервирования, таблице 2 – с резервными аккумуляторными батареями.

В процессе моделирования была выбрана аккумуляторная батарея типа свинцово-кислотная производителя Норреке 24 OPzS solar.power 4340, ёмкостью 4340 Ач, 24 В x 31 шт., способная при глубине разряда 80 % обеспечить 1500 циклов разряд/заряд.

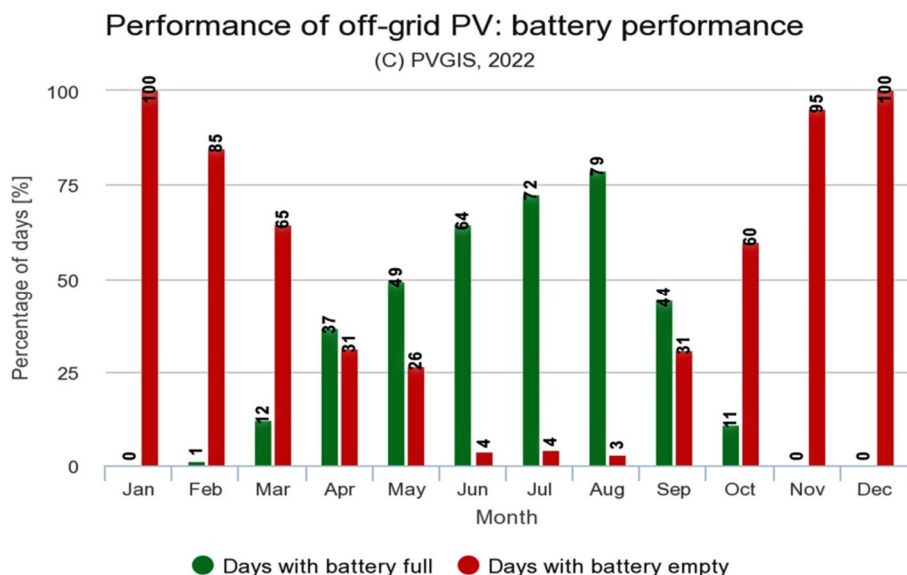


Рисунок 3 – Диаграмма пиковой мощности

Таблица 1 – Стоимость основного оборудования сетевой ФЭС без резервирования аккумуляторами

	Наименование оборудования ФЭС	Технические характеристики	Кол-во	Цена, €	Сумма, €	Сумма, руб.
1	Солнечная Батарея Trina Solar TALLMAX	400 Вт(пик), монокремний	863	235	202 805	13 607 387
2	Инвертор HUAWEI SUN2000-185KW KTL-H1	185 кВт, 135 А; MPPT 550 В, 40 А	1	6 669	6 669	447 462
3	Блок мониторинга	Плата-порт-485 для связи	1	252	252	16 908
Итого:					209 726	14 071 757

Как видим из расчетов стоимость сетевой ФЭС значительно ниже чем стоимость ФЭС с полным резервированием, что обеспечивает более приемлемые предпосылки для принятия решения об создании ФЭС для питания потребителей.

Схема сетевой ФЭС изображена на рисунке 4.

Таблица 2 – Стоимость основного оборудования ФЭС с резервными аккумуляторами

	Наименование оборудования ФЭС	Технические характеристики	Кол-во	Цена, €	Сумма, €	Сумма, руб.
1	Солнечная Батарея Trina Solar TALLMAX	400 Вт(пик), монокремний	1655	235	388 925	26 095 278
2	Инвертор HUAWEI SUN2000-185KW KTL-H1	185 кВт, 135 А; MPPT 550 В, 40 А	1	6 669	6 669	447 462
3	Норпеске 24 OPzS solar power 4340	24 В, 4340 Ач, DOD 80 %	31	13 138	407 278	27 326 690
4	Блок мониторинга	Плата-порт-485 для связи	1	252	252	16 908
5	Солнечный контроллер заряда Foshan top one 48V MPPT	100 А, позволяет подключать фото панели до 7,2 кВт	92	130	11 960	802 467
Итого:					815 084	54 688 805

В [2–5] приводится обоснование для использования в целях электроснабжения промышленных потребителей гибридных энергетических комплексов, использующих энергии ветра и Солнца. Такая схема позволяет меньше зависеть от одного источника энергии что, соответственно приводит к уменьшению потребной емкости резервирующих аккумуляторных батарей.

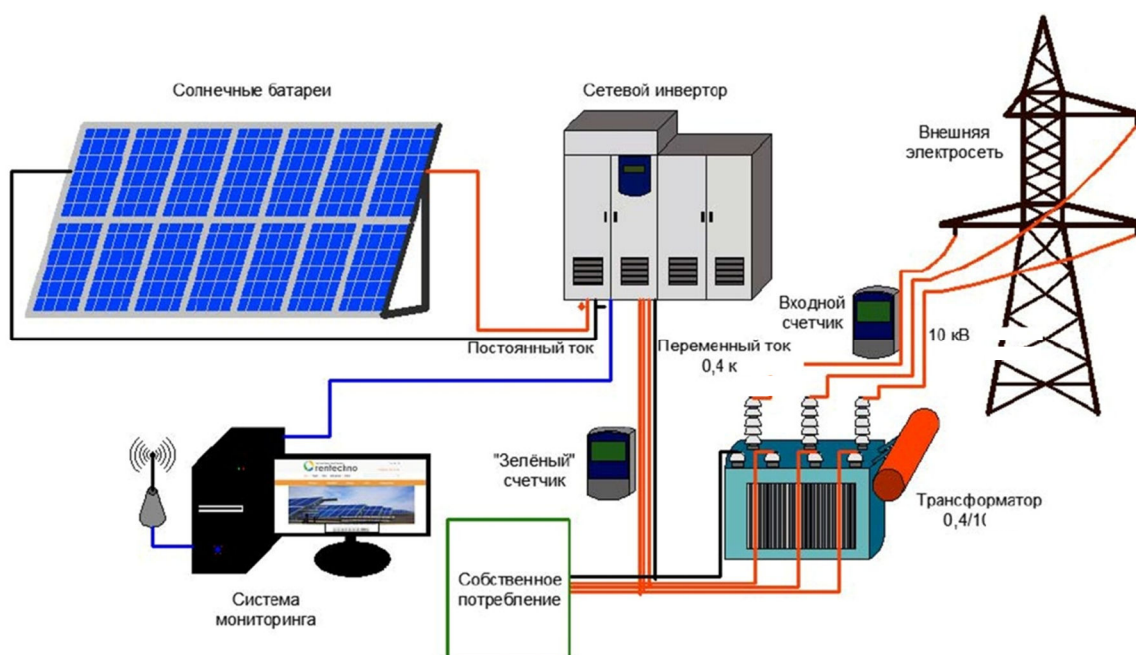


Рисунок 4 – Структурная схема сетевой фотоэлектрической электростанции

Список литературы:

1. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en
2. Разработка конструкций двухвходовых генераторных установок на основе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – № 2-3 (362–363). – С. 94–99.
3. Гайтов Б.Х. Перспективные разработки для систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов [и др.] // Наука Кубани. – 2014. – № 4. – С. 39–44.
4. Ермак А.А. Перспективные источники для автономных систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / А.А. Ермак, А.В. Самородов, М.Л. Копелевич // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-1. – С. 39–41.
5. Ветросолнечная двухвходовая генераторная установка / Я.М. Кашин [и др.] // Сельский механизатор. – 2019. – № 7. – С. 32–34.

ГИБРИДНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ МНОГОВХОДОВЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

**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 и 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

**Алёнкин
Максим Васильевич**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
alengin_96@inbox.ru

**Трескинская
Анастасия
Александровна**

Кубанский государственный технологический университет
студентка
tress2001@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются базовые принципы работы комплекса при нескольких источниках, а так же анализ возможности регулирования выходных параметров. Так же анализируются эффективность, надежность, преимущества.

Ключевые слова: технические характеристики, преобразователь, элементы, электро-технический комплекс, надежность, эффективность, комплекс источников.

Промышленные отрасли ставят перед собой амбициозные цели по декарбонизации энергетических систем, с дальнейшей перспективой на глобализацию. В расчете по реализации присутствуют солнечные и ветряные батареи, природный газ, и как следствие – динамичная энергетическая сеть, требующая адаптации технологий к ключевым характеристикам современных энергетических систем, а именно: надежность, устойчивость, безопасность, и экономичность, которую не всегда можно обеспечить на должном уровне, по причине регулярных многоаспектных требований к системам энергоснабжения [1].

Потребление энергии в любой стране мира увеличивается пропорционально росту населения и экономики. В некоторых странах мира принята диверсификация систем энергоснабжения путем ввода электроэнергии из распределительных систем генерации, что приводит к отводу от снабжения из централизованных систем генерации. В подобных обстоятельствах появляется важность увеличения зависимости от гибридных систем возобновляемой энергии, которые извлекают ее из двух и более возобновляемых источников [1–5]. Гибридные системы [6 и др.] могут обеспечить должный уровень качества и надежности в дополнительных секторах энергосистем, таких как транспорт, электросеть, промышленное производство. На рисунке 1 представлена структурная схема гибридного энергетического комплекса [6].

Представленный на рисунке 1 ГЭК предназначен для бесперебойного электро-, тепло- и холодоснабжения локальных объектов, удаленных от систем централизованного

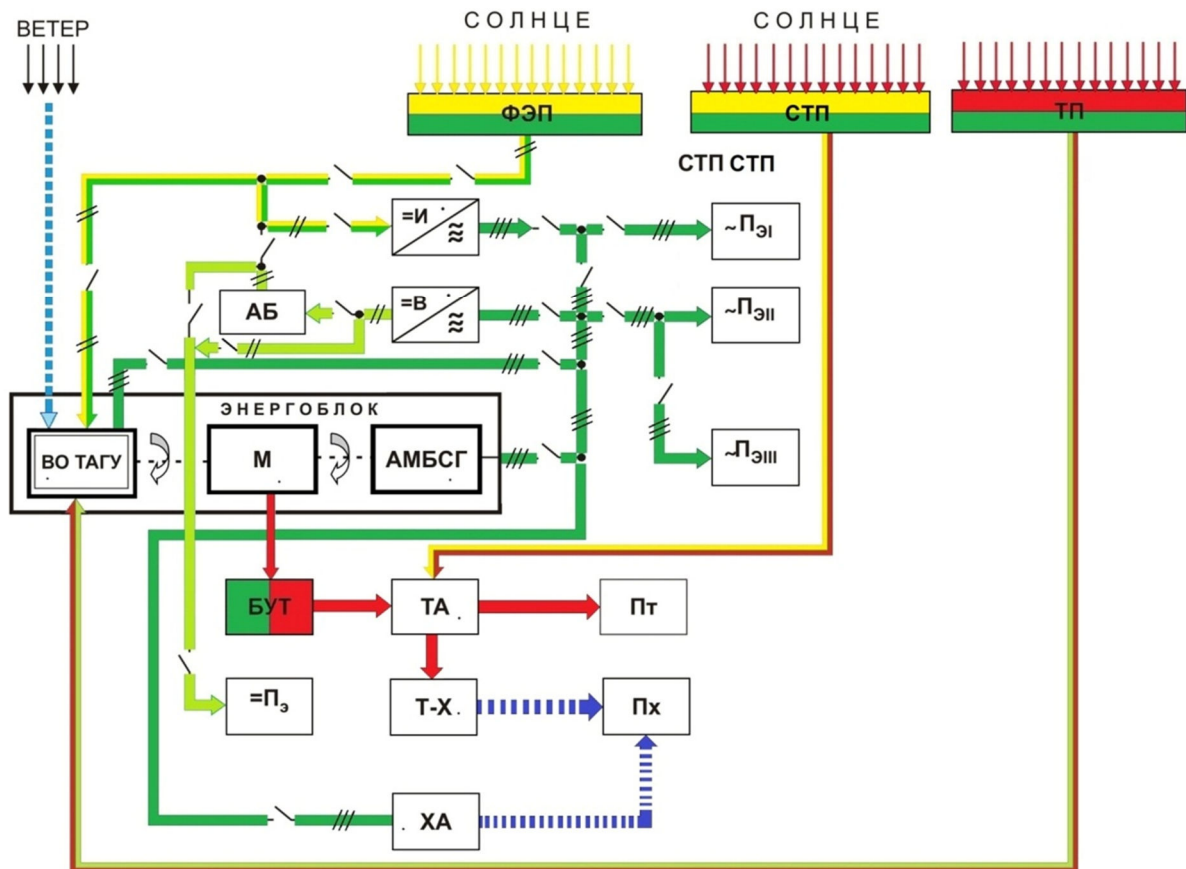


Рисунок 1 – Структура гибридного энергетического комплекса (ГЭК)

электро- и теплоснабжения, до которых экономически нецелесообразно строить традиционные линии электропередачи, а также как альтернативный автономный источник электро- и тепловой энергии в различных отраслях народного хозяйства. Обеспечивает независимость вырабатываемой мощности от направления ветра. ГЭК содержит солнечную тепловую панель (СТП), холодильный аппарат (ХА), фотоэлектрический преобразователь (ФЭП), преобразующий световую энергию в электроэнергию, приводной дизель, механически связанный с аксиальным многофазным бесконтактным синхронным генератором (АМБСГ), аккумуляторную батарею (АБ), выполненную с возможностью соединения через выпрямитель (В) с выходом АМБСГ и имеющую возможность подключения к потребителям постоянного тока и через инвертор (И) к потребителям переменного тока, тепловой преобразователь (ТП), трехходовую аксиальную генераторную установку (ТАГУ), имеющую механический, световой и тепловой входы, при этом выход ФЭП соединен со световым входом ТАГУ, при этом аккумуляторная батарея выполнена с возможностью подключения через выпрямитель к выходу ТАГУ, а приводной дизель сообщен с блоком утилизации тепла (БУТ). ГЭК содержит преобразователь «тепло-холод» и тепловой аккумулятор, выполненный с первым и вторым входами и первым и вторым выходами, при этом его первый вход подключен к СТП, а его второй вход подключен к выходу БУТ, его первый выход выполнен с возможностью подключения к потребителям тепловой энергии, а его второй выход подключен ко входу преобразователя «тепло-холод» (Т-Х), выход которого выполнен с возможностью подключения к потребителям холода, при этом ТАГУ выполнена вертикально-осевой, а выход теплового преобразователя подключен к тепловому входу вертикально-осевой ТАГУ, при этом вход холодильного аппарата (ХА) выполнен с возможностью подключения к выходу вертикально-осевой ТАГУ (ВО ТАГУ), аксиального многофазного бесконтактного синхронного генератора и инвертора, а выход выполнен с возможностью подключения к потребителям холода. Количество СТП определяют их единичной мощностью и расчетной мощностью нагрузки.

Для поддержания динамических характеристик ГЭК и других гибридных систем, для надлежащего уровня распределения и передачи энергии между различными ис-

точниками требуется эффективная система управления ввиду прерывистого и недетерминированного характера параметров возобновляемых источников энергии, таких как скорость ветра, уровень солнечного излучения и др.. Для решения этих проблем применяются различные силовые устройства, такие как инверторы, фильтры активного питания, регуляторы напряжения [7–9], трансформаторы [10], трансформаторы-регуляторы [11–13] и т.д. Среди общего многообразия преобразователей особое внимание следует уделить регуляторам, т.к. важная роль в гибридных системах отведена производству регулируемого выходного напряжения из нерегулируемых источников энергии [14]. Для ассимиляции более одного возобновляемого источника энергии в гибридных комплексах требуются многопортные преобразователи мощности, вместо одновходных преобразователей энергии, которые демонстрируют низкую эффективность при использовании для интеграции нескольких источников. Рассматривая модели топологий с параллельным и последовательным соединением с несколькими источниками напряжений отметим что для каждого источника (при последовательном соединении) требуется дополнительный переключатель для управления потоком энергии, что касается параллельного соединения нескольких источников – один недостаток: одновременно может использоваться только один источник для различных режимов работы. Как указывалось ранее, для решения данной проблемы приняты многопортовые преобразователи для интеграции в системы с несколькими источниками выработки электроэнергии [15].

Таким образом, организуя должным образом характеристический процесс регулирования и преобразования мощности при интеграции этих подходов, получится удовлетворить общие требования к комплексному моделированию, анализу возможностей и использовать лучшие характеристики каждого подхода, плавно переходя между ними по мере необходимости.

Будущие энергетические системы должны поддерживать гибкие вариации управления, интеграции, модернизации. Такой подход расширяет традиционные энергетические стратегии для оценки того, как можно использовать природный ресурсный потенциал каждого региона с наиболее эффективным и экономичным способом для предоставления необходимых энергетических услуг при достижении социальных и экологических целей в контексте стран мира.

Представленный комплекс преобразует в электроэнергию световую и тепловую энергию Солнца, кинетическую энергию ветра, утилизирует тепловые потери электрооборудования, преобразуя их в электроэнергию с возможностью последующего преобразования в тепло- и холод, обеспечивает независимость вырабатываемой мощности от направления ветра. Это позволяет обеспечивать бесперебойное электро-, тепло- и холодоснабжение локальных объектов, удаленных от систем централизованного электро- и теплоснабжения, до которых экономически нецелесообразно строить традиционные линии электропередачи (объекты нефтедобычи, на промыслах, производственные объекты на нефтяных скважинах при добыче нефти и газа на забалансовых месторождениях, фермерские хозяйства, промышленные предприятия, сельскохозяйственные объекты, рыбоперерабатывающие предприятия и пр.

Список литературы:

1. Debnath K.B., Mourshed M. Challenges and gaps for energy planning models in the developing-world context // *Nat. Energy*. – 3 (2018). – P. 172–184.
2. Гайтов Б.Х. Разработка конструкций двухвходных генераторных установок на основе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 2018. – № 2–3 (362–363). – С. 94–99.
3. Ветросолнечная двухвходовая генераторная установка / Я.М. Кашин [и др.] // *Сельский механизатор*. – 2019. – № 7. – С. 32–34.
4. Двухмерная электрическая машина-генератор для автономных систем электроснабжения / Б.Х. Гайтов [и др.] // *Наука Кубани*. – 2014. – № 4. – С. 39–44.
5. Перспективные разработки для систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов [и др.] // *Наука Техника. Технологии (политехнический вестник)*. – 2013. – № 1–2. – С. 66–69.

6. Пат. 2759192 RU, 16.03.2021. Гибридный энергетический комплекс / Я.М. Кашин // Оpubл. 10.1.2021. Бюл № 31.
7. Пат. 2168785 RU. 06.04.1998. Аксиальный индукционный регулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Н.А. Сингаевский, А.Ю. Савченко, С.Р. Шарифуллин // Оpubл. 10.06.2001. Бюл. № 16.
8. Пат. 2256973 RU. 30.12.2003. Аксиальный индукционный регулятор // Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова // Оpubл. 20.07.2005. Бюл. № 20.
9. Пат. 2216091 RU. 01.11.2001. Многофазный аксиальный индукционный регулятор // Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, И.П. Рябчун, А.Ю. Яковенко, С.В. Божко // Оpubл. 10.11.2003. Бюл. № 31.
10. Пат. 2249871 RU. 20.09.2004. Многофазный трансформатор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова // Оpubл. 10.04.2005. Бюл. № 10.
11. Пат. 29624 RU. 3.03.2003. Аксиальный многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, В.И. Шипалов // Оpubл. 20.05.2003. Бюл. № 14.
12. Пат. 29624 RU. 3.03.2003. Аксиальный многофазный трансформатор-фазорегулятор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, В.И. Шипалов // Оpubл. 20.05.2003. Бюл. № 14.
13. Пат. 2686084 RU. 06.08.2018. Аксиальный многофазный стабилизируемый трансформатор-фазорегулятор / Я.М. Кашин, А.Б. Варенов // Оpubл. 24.04.2019 г. Бюл. № 12.
14. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника: учеб. пособие. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2009.
15. Гончаров В.П., Ильинский В.В. Проектирование и эксплуатация многовходовых генераторных установок. – Санкт-Петербург : Издательство СПбГЭТУ, 2017.

УДК 620.92

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ВРЕМЕНИ
ЭЛЕКТРОВЫРАБОТКИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ
ПРИ ЕЕ ПИКОВОЙ МОЩНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ
И РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ**

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 и радиоэлектронного оборудования, jlms@mail.ru
Белов Антон Алексеевич	Общество с ограниченной ответственностью Научно-техническая компания «Солнечный центр» кандидат технических наук, директор по развитию Кубанский государственный технологический университет доцент кафедры электротехники и электрических машин belov.anton.7@mail.ru
Пауков Дмитрий Викторович	Филиал ВУНЦ ВВС «ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина в г. Челябинске» кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры воздушной навигации paukovdv.rambler@ru
Малеева Алсу Вячеславовна	Кубанский государственный технологический университет магистрант maleeva_alsu@mail.ru
Трескинская Анастасия Александровна	Кубанский государственный технологический университет лаборант кафедры электротехники и электрических машин, магистрант, tress2001@mail.ru

Аннотация. Рассмотрено определение эквивалентного времени электровыработки солнечной батареи при ее пиковой мощности на объектах Краснодарского края и Республики Адыгея. Приведены аналитические выражения и полученные значения эквивалентного времени электровыработки для различных временных промежутков. Приведены примеры получения электровыработки солнечной батареи с заданным значением пиковой мощности.

Ключевые слова: эквивалентное время электровыработки солнечной батареи, солнечный модуль, фотоэлектрическая станция, солнечная электростанция, пиковая мощность.

В работе приняты следующее сокращения.
АСР – автоматизированная система расчетов.
СБ – солнечная батарея (состоящая из одного или нескольких солнечных модулей).

СМ – солнечный модуль.

ФЭС – фотоэлектрическая станция.

NOCT – normal operating cell temperature (нормальные условия испытаний СМ при интенсивности облучения 800 Вт/м^2 , температуре модуля $20 \text{ }^\circ\text{C}$).

STC – standard test conditions (стандартные условия испытаний СМ при интенсивности облучения 1000 Вт/м^2 , температуре модуля $25 \text{ }^\circ\text{C}$).

При проектировании ФЭС обычно требуется определение мощности СБ. Для этого, как правило, производится расчет электровыработки данной СБ. Затем, устанавливая уровень напряжения, ток потребления СМ (и др. параметры), определяется мощность, количество СМ и схема их соединения в СБ.

Часто, для определения электровыработки СМ, применяются АСР. Например, такие, как Photovoltaic Geographical Information System (European Commission) [1]. Система является апробированной и широко используемой, имеет интуитивно понятный интерфейс. Внешний вид программного окна системы представлен на рис. 1, 2.

Вместе с тем, возможен быстрый расчет производства электроэнергии от СБ с помощью применения параметра – эквивалентного времени электровыработки.

Эквивалентное время электровыработки в сутки – среднее время (за месяц / за сезон / за квартал / за год) работы СБ в сутки, при котором ее отдаваемая мощность равна пиковой при стандартных условиях испытаний (STC).

В общем случае, эквивалентное время электровыработки СБ равно:

$$T_{\text{ЭКВ П}} = \frac{W_{\text{П}}}{P_{\text{ПИК СБ}} \cdot T_{\text{П}}},$$

где $T_{\text{ЭКВ П}}$ – эквивалентное время электровыработки СБ в сутки за период времени $T_{\text{П}}$, час/сутки; $W_{\text{П}}$ – электровыработка СБ в сутки за период времени $T_{\text{П}}$, кВтч; $P_{\text{ПИК СБ}}$ – пиковая мощность СБ при стандартных условиях испытаний (STC), кВт(пик); $T_{\text{П}}$ – произвольно выбранный период учета (П) электровыработки СБ, суток.

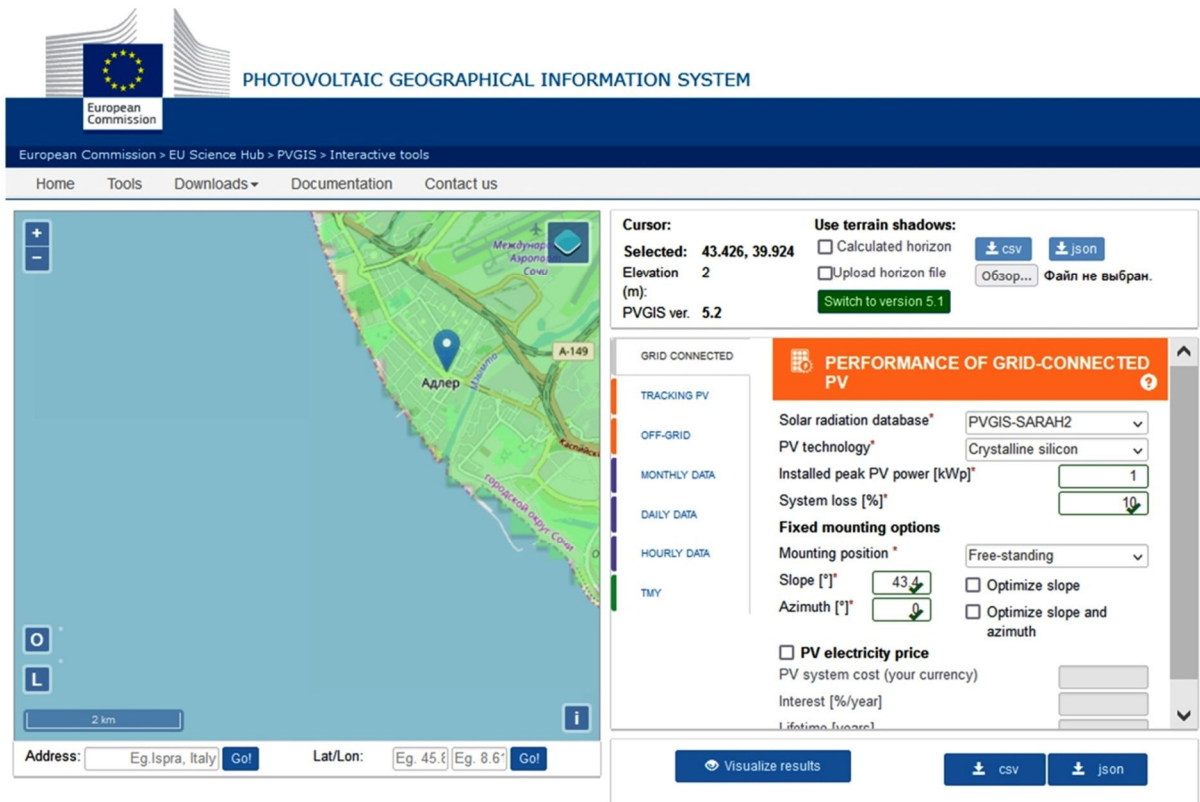


Рисунок 1 – Основное окно ACP Photovoltaic Geographical Information System

При этом угол наклона СБ принимается равным углу широты места установки ФЭС. Для других случаев, например, при максимуме электропотребления нагрузки от ФЭС зимой или летом – угол соответственно меняется и применяются другие значения $T_{\text{ЭКВ П}}$.

Азимут принят – строго на Юг (0 градусов). Без трекинга СМ.

К электровыработке, полученной от АСР [1], рекомендуется применять понижающий коэффициент, равный 0,8, который учитывает реальные погодные условия и условия испытаний СМ NOCT [2].

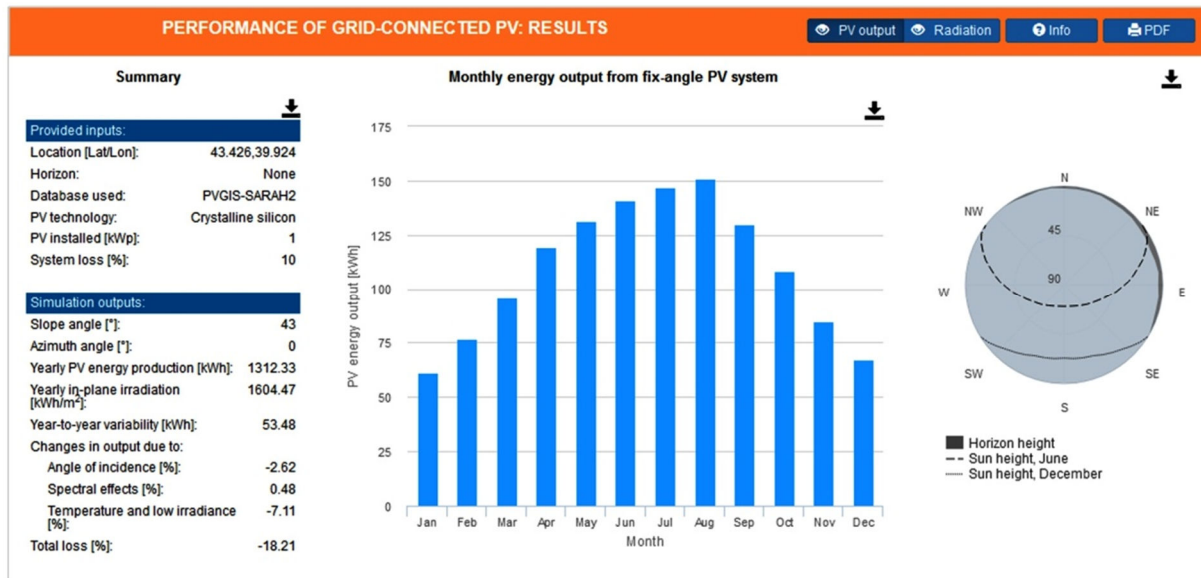


Рисунок 2 – Окно построения графиков электровыработки СБ АСР Photovoltaic Geographical Information System

Тогда, в общем виде, эквивалентное время электровыработки СБ будет равно:

$$T_{\text{ЭКВ П}} = \frac{0,8 \cdot W_{\text{П}}}{P_{\text{ПИК СБ}} \cdot T_{\text{П}}}$$

Здесь значение $W_{\text{П}}$ рассчитывается с помощью АСР [1].

Таким образом, эквивалентное время электровыработки СБ для различных периодов будет равно:

$$T_{\text{ЭКВ МЕС } i} = \frac{0,8 \cdot W_{\text{МЕС } i}}{P_{\text{ПИК СБ}} \cdot 30,5 \text{ суток}},$$

$$T_{\text{ЭКВ КВ } j} = \frac{0,8 \cdot \sum_1^3 W_{\text{МЕС } i}}{P_{\text{ПИК СБ}} \cdot 3 \cdot 30,5 \text{ суток}},$$

$$T_{\text{ЭКВ СЗ } j} = \frac{0,8 \cdot \sum_1^3 W_{\text{МЕС } i}}{P_{\text{ПИК СБ}} \cdot 3 \cdot 30,5 \text{ суток}},$$

$$T_{\text{ЭКВ ГОД}} = \frac{0,8 \cdot \sum_1^{12} W_{\text{МЕС } i}}{P_{\text{ПИК СБ}} \cdot 365 \text{ суток}},$$

где $T_{\text{ЭКВ МЕС } i}$ – эквивалентное время электровыработки СБ в сутки за i -й месяц, час/сутки; $T_{\text{ЭКВ КВ } j}$ – эквивалентное время электровыработки СБ в сутки за j -й квартал, час/сутки; в квартал при этом входят соответствующие месяцы i ; $T_{\text{ЭКВ СЗ } j}$ – эквивалентное время электровыработки СБ в сутки за j -й сезон, час/сутки; в сезон при этом входят соответствующие месяцы i ; $T_{\text{ЭКВ ГОД}}$ – эквивалентное время электровыработки СБ в сутки за год, час/сутки; в год при этом входят соответствующие месяцы i ; $W_{\text{МЕС } i}$ – электровыработка СБ за месяц i , кВтч.

Исходя из изложенного, зная $T_{\text{ЭКВ П}}$ и $P_{\text{ПИК СБ}}$, специалист-проектировщик может, затратив малое количество времени, рассчитать электровыработку от СБ в сутки, в месяц, и т.д. по формуле:

$$W_{\text{Р П}} = P_{\text{ПИК СБ}} \cdot T_{\text{ЭКВ П}} \cdot T_{\text{П}},$$

где $W_{\text{Р П}}$ – расчетная электровыработка СБ за период $T_{\text{П}}$, кВтч.

Замечание: данные расчеты, при всем их удобстве, являются средними (примерными) значениями и при финальном выборе компонентов ФЭС рекомендуется их уточнить с использованием апробированной АСР или с помощью одной из известных методик.

Исходные данные, введенные в АСР [1], приведены в таблице 1, полученные значения эквивалентного времени электровыработки приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Исходные данные ACP Photovoltaic Geographical Information System

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Вкладка	Grid Connected	Mounting position	Free standing
Use terrain shadows	No	Optimize slope	No
PVGIS	5.2	Optimize slope and azimuth	No
Solar radiation database	PVGIS SARAИ2	Slope	Равен широте в формате XX,X град.
PV technology	Crystalline silicone	Azimuth	0 град.
Installed peak PV power	1 кВт(пик)	PV electricity price	No
System loss	10 %	–	–

Таблица 2 – Полученные значения эквивалентного времени электровыработки

Параметр	ФЭС-Объект в населенном пункте:			
	Южная часть Краснодарского края	Центральная часть Республики Адыгея	Центральная часть Краснодарского края	Северная часть Краснодарского края
	г. Адлер	г. Майкоп	г. Краснодар	х. Цукерова Балка
1	2	3	4	5
Широта населенного пункта	43,43	44,62	45,04	46,77
Указанная в программе широта	43,4	44,6	45,0	46,8
Электровыработка за месяц, кВтч:	↓	↓	↓	↓
январь	61,07	59,56	52,47	37,41
февраль	76,57	83,52	76,38	57,12
март	95,64	97,14	100,06	94,45
апрель	119,15	122,64	126,66	126,66
май	131,15	125,67	133,18	135,34
июнь	140,79	128,34	133,85	141,60
июль	146,81	140,45	144,45	146,07
август	150,96	145,94	152,34	156,32
сентябрь	130,05	126,35	131,92	134,12
октябрь	108,25	103,40	105,91	103,27
ноябрь	84,56	82,04	73,14	62,37
декабрь	67,33	62,25	55,14	36,7
Электровыработка за год, кВтч	1312,33	1277,32	1288,51	1231,45
Эквивалентное время за месяц, час/сутки:	↓	↓	↓	↓
январь	2,00	1,95	1,72	1,23
февраль	2,73	2,98	2,73	2,04
март	3,14	3,18	3,28	3,10
апрель	3,91	4,02	4,15	4,15
май	4,30	4,12	4,37	4,44
июнь	4,62	4,21	4,39	4,64
июль	4,81	4,60	4,74	4,79
август	4,95	4,78	4,99	5,13
сентябрь	4,26	4,14	4,33	4,40
октябрь	3,55	3,39	3,47	3,39
ноябрь	2,77	2,69	2,40	2,04
декабрь	2,21	2,04	1,81	1,20

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Эквивалентное время за I квартал, час/сутки	2,55	2,63	2,50	2,07
Эквивалентное время за II квартал, час/сутки	4,27	4,12	4,30	4,41
Эквивалентное время за III квартал, час/сутки	4,68	4,51	4,69	4,77
Эквивалентное время за VI квартал, час/сутки:	2,84	2,71	2,56	2,21
Эквивалентное время за зимний сезон, час/сутки	2,24	2,24	2,01	1,43
Эквивалентное время за весенний сезон, час/сутки	3,78	3,78	3,93	3,90
Эквивалентное время за летний сезон, час/сутки	4,79	4,53	4,71	4,85
Эквивалентное время за осенний сезон, час/сутки	3,53	3,41	3,40	3,28
Эквивалентное время за год, час/сутки	3,60	3,50	3,53	3,37

Из полученных данных видно следующее.

1. Ожидаемое снижение электровыработки и эквивалентного времени электровыработки СБ ФЭС при повышении широты (движении на Север).

2. Среднегодовое эквивалентное время электровыработки СБ ФЭС ниже, чем данное время за летние месяцы или за III квартал. Однако, оно выше, чем в зимние месяцы. Поэтому рекомендуется, наряду с годовым, обязательно рассчитывать энерговыработку ФЭС для зимних месяцев, как имеющих наименьший потенциал в электрогенерации.

3. Возможно дополнить данную таблицу значениями эквивалентного времени электровыработки СБ от Объектов между приведенными в таблице 2 населенными пунктами, что увеличит точность расчетов. Также возможно создание таблиц эквивалентного времени электровыработки СБ для других Регионов России (или стран Мира) согласно данной последовательности (методике).

Рассмотрим примеры использования эквивалентного времени электровыработки солнечной батареи для расчетов и выбора СБ ФЭС.

Пример № 1 определения и использования эквивалентного времени электровыработки СБ.

Дано: ФЭС планируется построить в г. Краснодаре. Предполагаемая пиковая мощность СБ ФЭС: 25 кВт(пик).

Определить: эквивалентное время электровыработки солнечной батареи за I квартал, за декабрь, за год; электровыработку солнечной батареи за I квартал, за декабрь, за год.

Решение:

1. Используя данные таблицы 2, определим эквивалентное время электровыработки СБ за I квартал, за декабрь, за год:

$$T_{\text{ЭКВ КВ I}} = 2,50 \text{ час/сутки.}$$

$$T_{\text{ЭКВ МЕС 12}} = 1,81 \text{ час/сутки.}$$

$$T_{\text{ЭКВ ГОД}} = 3,53 \text{ час/сутки.}$$

2. Используя формулы, приведенные в данной статье, определим электровыработку СБ за I квартал, за декабрь, за год:

$$W_{\text{КВ I}} = 25 \text{ кВт(пик)} \cdot 2,50 \text{ час/сутки} \cdot 3 \cdot 30,5 \text{ суток} = 5718,75 \text{ кВтч.}$$

$$W_{\text{МЕС 12}} = 25 \text{ кВт(пик)} \cdot 1,81 \text{ час/сутки} \cdot 1 \cdot 30,5 \text{ суток} = 1380,13 \text{ кВтч.}$$

$$W_{\text{ГОД}} = 25 \text{ кВт(пик)} \cdot 3,53 \text{ час/сутки} \cdot 365 \text{ суток} = 32211,25 \text{ кВтч.}$$

Пример № 2 определения и использования эквивалентного времени электровыработки СБ.

Дано: ФЭС планируется построить в северной части Краснодарского края. Ш: 46,73 град, Д: 39,80 град. Предполагаемая пиковая мощность СБ ФЭС: 12 кВт(пик).

Определить: эквивалентное время электровыработки солнечной батареи за январь, за август, за год; электровыработку солнечной батареи за январь, за август, за год.

Решение:

1. Либо ввести данные в АСР [1] и получить значения электровыработки напрямую. Либо воспользоваться таблицей 2 данной статьи и принять примерные значения эквивалентного времени электровыработки указанной Северной точки Краснодарского края (т.к. ФЭС ближе к ней).

Таким образом, из таблицы 2:

$$T_{\text{ЭКВ МЕС 1}} = 1,23 \text{ час/сутки.}$$

$$T_{\text{ЭКВ МЕС 8}} = 5,13 \text{ час/сутки.}$$

$$T_{\text{ЭКВ ГОД}} = 3,37 \text{ час/сутки.}$$

2. Используя формулы, приведенные в данной статье, определим электровыработку СБ за январь, за август, за год:

$$W_{\text{МЕС 1}} = 12 \text{ кВт(пик)} \cdot 1,23 \text{ час/сутки} \cdot 1 \cdot 30,5 \text{ суток} = 450,18 \text{ кВтч.}$$

$$W_{\text{МЕС 8}} = 12 \text{ кВт(пик)} \cdot 5,13 \text{ час/сутки} \cdot 1 \cdot 30,5 \text{ суток} = 1877,58 \text{ кВтч.}$$

$$W_{\text{ГОД}} = 12 \text{ кВт(пик)} \cdot 3,37 \text{ час/сутки} \cdot 365 \text{ суток} = 14760,60 \text{ кВтч.}$$

Таким образом, представленная последовательность (методика) определения эквивалентного времени электровыработки солнечной батареи для Объектов Краснодарского края и Республики Адыгея позволяет получить средние значения электровыработки данной батареи в выбранном промежутке времени, задавая ее пиковую мощность, что снижает затраты времени на проведение расчетов и выбор оборудования фотоэлектрической станции.

Список литературы:

1. Photovoltaic Geographical Information System (European Commission). Дата доступа: 5 сентября 2023. [Электронный ресурс]. – URL : https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.2

2. Сравнительный анализ данных энерговыработки фотоэлектрической станции, полученных посредством автоматизированных систем расчета и в процессе эксплуатации / Я.М. Кашин [и др.] // Новое в российской электроэнергетике. – 2023. – № 8. – С. 24–35.

АНАЛИЗ ИНДУКЦИОННОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ 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 и радиоэлектронного
оборудования
jlms@mail.ru

**Кириллов
Геннадий Алексеевич**

Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент,
Почётный энергетик России, Почетный работник
высшего образования Российской Федерации
kirillov.g.a@yandex.ru

**Шаршак
Алексей Александрович**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
vip.sharshak@mail.ru

**Шестаков
Фёдор Алексеевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент
mr.fedor2002@mail.ru

**Кузнецов
Дмитрий Николаевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент
market.desire.s@gmail.com

Аннотация. В статье представлены основные недостатки индукционного способа определения трассы кабельной линии и поиска мест повреждений.

Ключевые слова: индукционный способ определения места повреждения кабеля, индукционно-коммутационный способ определения места повреждения кабеля, кабельная линия.

Индукционный способ определения трассы кабельной линии и места повреждения (рис. 1) основан на анализе локальных максимумов и минимумов амплитуды сигнала звуковой частоты на выходе поискового прибора (ПП), вход которого подключён к антенне (А), улавливающей электромагнитное поле (ЭМПкл), индуцированное вокруг кабельной линии током, созданным генератором звуковой частоты (ГЗЧ) [1].

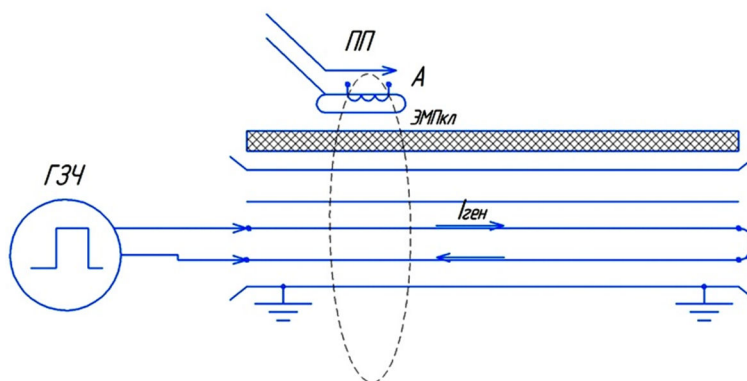


Рисунок 1 – Схема индукционного способа определения трассы кабельной линии электропередачи при неэранирующем верхнем слое грунта и низкой частоте на выходе генератора

Современные поисковые комплексы для реализации этого способа обладают повышенной надёжностью, ввиду наличия у генератора (например, ГП-500К) ряда степеней защиты: от перегрева, короткого замыкания, перенапряжения и реактивной мощности.

Основным условием реализации индукционного способа определения места повреждения кабеля является возможность свободного распространения электромагнитных волн в среде прокладки линии электропередачи, а также отсутствие помех, амплитуда которых выше амплитуды сигнала на выходе генератора при частотах, находящихся в близком диапазоне [2].

К таким случаям относятся:

- наличие поверх грунта железобетона или прокладка кабельной линии в экранированном железобетонном кабельном канале (при нахождении приёмной антенны снаружи канала), что ведёт к искажению электромагнитного поля вокруг кабеля (рис. 2);
- пересечение трассы кабеля с металлическими коммуникациями (МК) или наличие электрического контакта внешних токопроводящих слоёв кабеля с данными коммуникациями (рис. 3);
- пересечения трассы кабеля с сигнальными кабелями и кабелями связи (например, на участках пересечения трассой кабеля железной дороги);
- при заземлении кабеля с обратной стороны;
- при высокой глубине залегания кабеля.

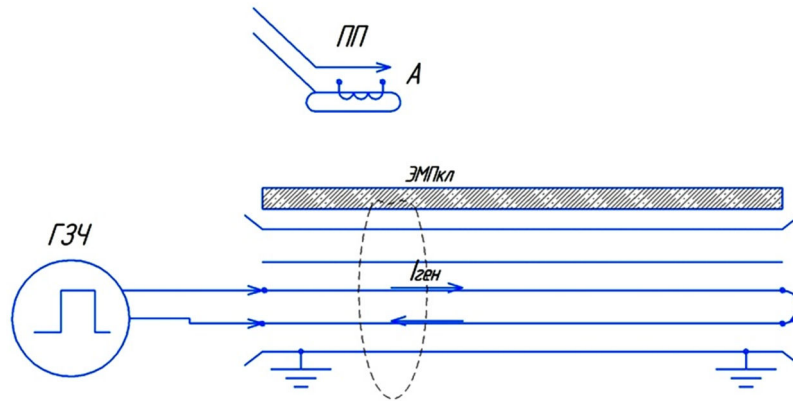


Рисунок 2 – Схема определения трассы кабеля индукционным способом при наличии поверх грунта экранирующего слоя железобетона

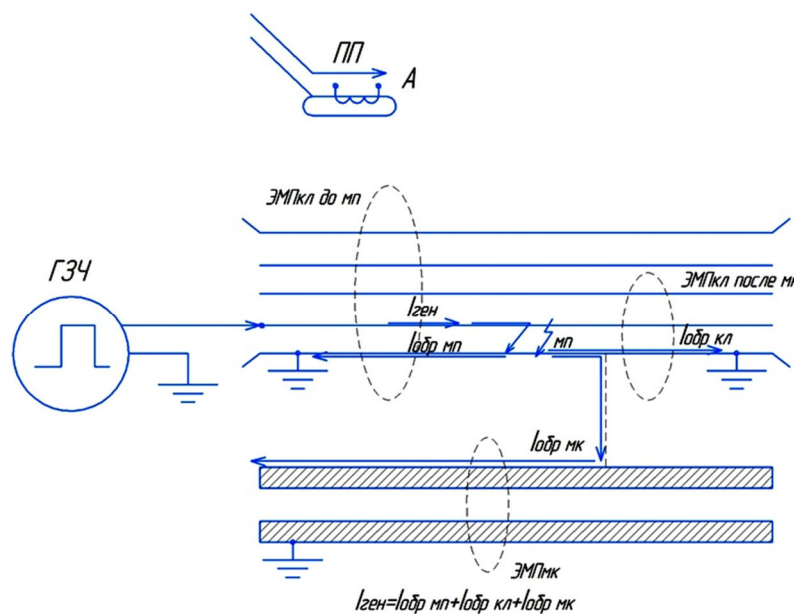


Рисунок 3 – Схема определения трассы кабеля и отыскания места повреждения при наличии электрической связи между заземлёнными частями линии и внешними металлическими коммуникациями

К наиболее распространённым способам борьбы с указанными недостатками относят:

- использование различных комбинаций подключения кабельной линии к генератору звуковой частоты и изменение вариаций схемы с обратной стороны кабеля;
- чередование различных комбинаций частот на выходе ГЗЧ;
- использование индукционно-коммутационного способа определения места повреждения [4];
- использование индукционно-акустического способа при отсутствии внешних звуковых помех [3-4].

Список литературы:

1. Кириллов Г.А. Теория и практика поиска отказов в кабельных линиях электропередачи. Монография / КВВАУЛ. – Краснодар, 2006.
2. Определение трассы кабеля и корректировка положения автономного устройства для определения места положения кабеля при его перемещении вдоль трассы кабеля / Я.М. Кашин [и др.] // Технические и технологические системы «ТТС-22» : матер. тринадцатой Междунар. научн. конф. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 52–55
3. Индукционно-акустический кабелеискатель / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского Государственного университета Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2020. – С. 85–91.
4. Кириллов Г.А. Эксплуатация линий электропередачи. Часть 2. Учебное пособие / Г.А. Кириллов, Я.М. Кашин. – Краснодар : Изд-во ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2021.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ИНВЕРТОРА

Квитко Андрей Викторович	Кубанский государственный аграрный университет старший преподаватель кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ 9061870011@mail.ru
Грищенко Дмитрий Николаевич	Кубанский государственный аграрный университет аспирант доцент кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ professs0r@yandex.ru
Басте Анзор Шугаибович	Кубанский государственный аграрный университет студент 7654943@gmail.ru

Аннотация. Рассмотрена упрощенная методика расчёта электрических параметров и выбора силовых электронных приборов солнечного инвертора, а также методика расчёта параметров его выходного фильтра.

Ключевые слова: солнечная фотоэнергетическая установка, солнечный инвертор, выходной фильтр.

Перспективы солнечной энергетики в сельскохозяйственном производстве очевидны [1, 2]. Важным является вопрос повышения эффективности предпроектных работ по разработке энергоэффективных источников [3, 4]. Для преобразования напряжения постоянного тока, вырабатываемого солнечными батареями фотоэнергетических установок (СФЭУ), в напряжение переменного тока применяются однофазные мостовые схемы инверторов напряжения (рисунок 1). Типовая силовая электрическая схема инвертора содержит [5]: входной фильтр и согласующий трансформатор (на рисунке 1 не показаны), 4 силовых полупроводниковых прибора, встречно-параллельно которым включены обратные диода, выходной пассивный LC-фильтр.

Исходными данными для расчета параметров автономного инвертора являются напряжение источника питания, мощность и характер нагрузки. Инверторы классифицируются по мощности:

- маломощные (до 100W Вт) их КПД – порядка 0,7–0,8;
- средней мощности (100–1000 Вт) – КПД порядка 0,9;
- высокомошные (свыше 1000 Вт) – КПД порядка 0,95–0,98.

Мощность источника электроэнергии определяется по формуле:

$$P_{И} = \frac{P_{Н}}{\eta}, \quad (1)$$

где η – КПД; $P_{Н}$ – номинальная мощность нагрузки, определяется по формуле:

$$P_{Н} = I_{Н} U_{Н} = I_{Н}^2 R_{Н}, \quad (2)$$

где $I_{Н}$ и $U_{Н}$ – номинальное значение тока и напряжения нагрузки.

Из (2) определяется значение активного сопротивления нагрузки:

$$R_{Н} = \frac{P_{Н}}{I_{Н}^2}. \quad (3)$$

Входной ток инвертора:

$$I_{И} = \frac{P_{И}}{U_{И}}. \quad (4)$$

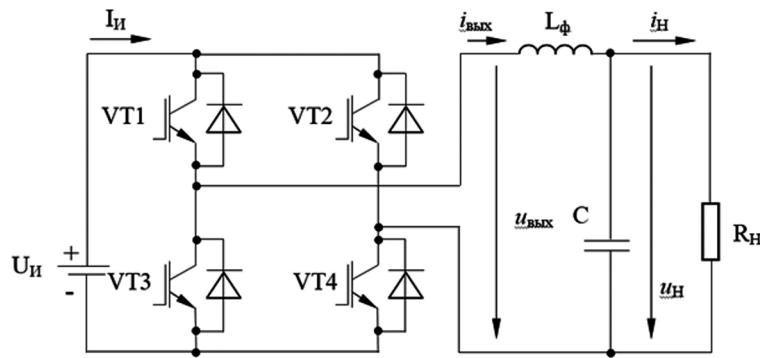


Рисунок 1 – Силовая мостовая схема однофазного автономного инвертора

В инверторах, в которых применяется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) выходного напряжения в качестве силовых электронных приборов применяются полевые транзисторы серии MOSFET [4]. Их выбор осуществляется по максимальному обратному напряжению $U_{об}$ и сопротивлению в проводящем состоянии $R_{пр}$.

$$U_{об} = U_{И}, I_{д} = I_{И}, \quad (5)$$

где $I_{д}$ – действующее значение тока транзистора в приводящем состоянии.

Сопротивление транзистора в проводящем состоянии:

$$R_{пр} = \frac{U_{пр}}{I_{д}}, \quad (6)$$

где $U_{об}$ – обратное напряжение на транзисторе в проводящем состоянии, как правило, его значение не превышает 1 В.

По справочным данным по значениям $U_{об}$ и $R_{пр}$ выбирается транзистор.

В преобразователях большой мощности с ШИМ выходного напряжения, применяются IGBT транзисторы или GTO (IGCT) тиристоры.

Выбор IGBT-транзистора осуществляется по максимальному обратному напряжению $U_{об}$ (5) и максимальному прямому току $I_{с} = I_{И}$ (4).

Выбрав IGBT-транзистор по справочнику по вольт-амперной характеристике (ВАХ) при 125 °С определяется дифференциальное сопротивление $R_{диф}$ и пороговое напряжение $U_{ф}$. Для этого аппроксимируем реальную ВАХ двумя отрезками прямых – так, как показано на рисунке 2.

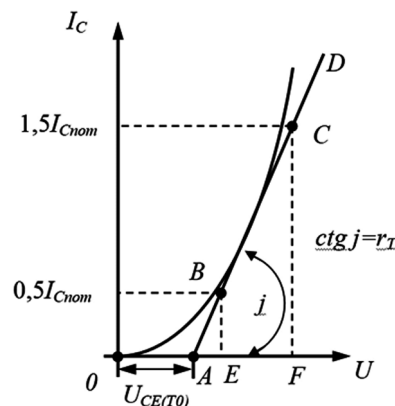


Рисунок 2 – Аппроксимация прямой ветви ВАХ IGBT транзистора двумя отрезками прямых

$$\begin{cases} R_{диф} = r_T = \frac{U_{CEsat}(1.5I_{Cnom}) - U_{CEsat}(0.5I_{Cnom})}{2} \\ U_{ф} = U_{CE(T0)} = \frac{3U_{CEsat}(0.5I_{Cnom}) - U_{CEsat}(1.5I_{Cnom})}{2} \end{cases} \quad (7)$$

Основным выражением для расчёта параметров выходного фильтра является зависимость [5]:

$$L_{\phi}C_{\phi} = \frac{K_{CG} + 1}{m_{\Pi}^2(2\pi f_1)^2} \quad (8)$$

где K_{CG} – коэффициент сглаживания; $m_{\Pi} = 2$ – коэффициент пульсаций однофазной мостовой схемы; $f_1 = 50$ Гц – частота первой гармоники выходного напряжения.

Чтобы не вызвать резонанс напряжений (ω_0 – резонансная частота), необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{\phi}C_{\phi}}} \leq \frac{m_{\Pi}\omega_1}{2} \quad \text{или} \quad L_{\phi}C_{\phi} \geq \frac{4}{(m_{\Pi}\omega_1)^2} \quad (9)$$

Для обеспечения непрерывности тока в нагрузке необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\omega_1 L_{\text{TM}\eta p} \gg \frac{1}{\omega_1 C_{\text{TM}}} \quad (10)$$

где $L_{\text{фкр}}$ – критическая индуктивность, при которой имеет место граничный режим прерывистого и непрерывного тока.

Критическая индуктивность определяется по формуле:

$$L_{\text{фкр}} \approx \frac{U_{(1)m} R_{d\max}}{\omega_1 U_d} \quad (11)$$

где $U_{(1)m}$ – амплитудное значение напряжения первой гармоники.

С учётом рассмотренных зависимостей и условий (8–11) алгоритм определения параметров выходного фильтра емкости конденсаторов C_{ϕ} и индуктивности дросселя L_{ϕ} , следующий: задаются значениями коэффициента сглаживания K_{CG} , значение этого коэффициента зависит от требований потребителей к качеству выходного напряжения инвертора, и емкостью выходного фильтра C_{ϕ} и по (8) определяется индуктивности фильтра L_{ϕ} . Если не выполняются условия (9) и (10), то изменяется значение емкости и расчёт по формуле (8) повторяется.

Таким образом, предложенная упрощенная методика основанных параметров солнечного инвертора повысит эффективность предпроектных работ по разработке статического преобразователя для СФЭУ [3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/27.

Список литературы:

1. Григораш О. В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края / О. В. Григораш, А. А. Хамула, А. В. Квитко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 92. – С. 630–641.
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. Энергоэффективные и энергосберегающие автономные системы электропитания на ветро-солнечных электростанциях для малых фермерских хозяйств : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 180 с.
4. Денисенко Е.А. Особенности проектирования солнечных фотоэнергетических станций : монография / Е.А. Денисенко, П.М. Барышев. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – 120 с.
5. Усков А.Е. Автономные инверторы солнечных электростанций : монография. – Краснодар : КубГАУ, 2011. – 126 с.

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ ИНВЕРТОРАМИ

**Квитко
Андрей Викторович**

Кубанский государственный аграрный университет
старший преподаватель кафедры электротехники,
теплотехники и ВИЭ
9061870011@mail.ru

**Грищенко
Дмитрий Николаевич**

Кубанский государственный аграрный университет
аспирант доцент кафедры электротехники,
теплотехники и ВИЭ
professs0r@yandex.ru

**Дубовской
Александр
Владимирович**

Кубанский государственный аграрный университет
студент
dav20032012@yandex.ru

Аннотация. Раскрываются структуры систем управления солнечными инверторами, достоинства и недостатки однополярной и двухполярной ШИМ, что позволит на этапе проектирования инверторов создавать высокоэффективные системы управления в зависимости от требований потребителей к качеству электроэнергии и их быстродействию.

Ключевые слова: солнечная фотоэнергетическая установка, солнечный инвертор, система управления, широтно-импульсная модуляция.

Автомные солнечные инверторы (СИ) применяются в составе солнечных фотоэнергетических установок (СФЭУ) для согласования напряжения источника электроэнергии с напряжением потребителей. СИ, как правило, выполняют функцию стабилизатора напряжения. Кроме того, они могут выполнять функцию регулирования частоты тока, в случае, когда нагрузкой являются электрические машины [1, 2].

На рисунке 1 приведена однофазная мостовая схема инвертора, применяемая в составе СФЭУ. На схеме показаны: U_H – напряжение источника питания постоянного тока; $VT1-VT4$ – биполярные транзисторы с обратными диодами; U_H – выходы для подключения нагрузки. На схеме СИ не показаны трансформатор, входной и выходной фильтры, входной фильтр, включается перед силовой схемой, а трансформатор и выходной фильтр после силовой схемы.

В настоящее время синтез выходного напряжения СИ основан на использовании широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [3]. Попеременное парное включение в работу транзисторов $VT1, VT4$ и $VT2, VT3$ приводит к формированию импульсов ШИМ (рис. 2).

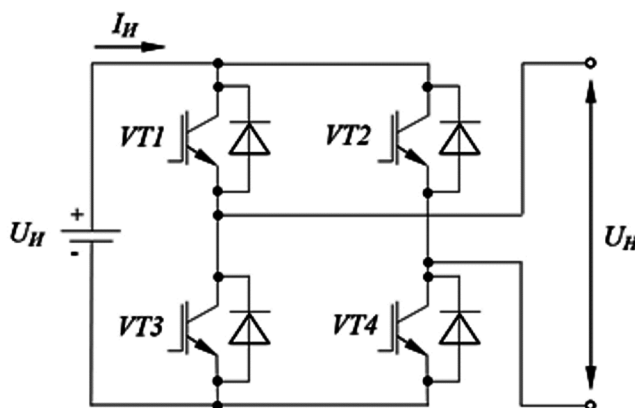


Рисунок 1 – Однофазная мостовая схема инвертора

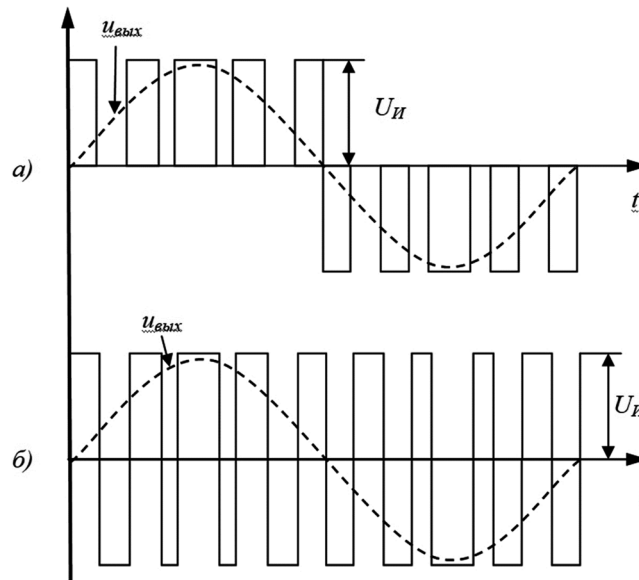


Рисунок 2 – Однополярная (а) и двухполярная (б) ШИМ

По виду импульсов выходного напряжения ШИМ может быть однополярной (рис. 2, а) и двухполярную (рис. 2, б). Целесообразно рассмотреть достоинства и недостатки этих способов формирования выходного напряжения СИ.

Достоинства однополярной ШИМ: простота реализации, более высокий КПД; высокая устойчивость к электромагнитным помехам. Недостатки однополярной ШИМ: малая разрешаемая способность, для среднего значения выходного напряжения, необходимо применение высокой частоты ШИМ, что снижает эффективность преобразователя. Кроме того, использование только одного полупериода может приводить к смещению нуля и искривлению формы выходного напряжения.

Достоинства двухполярной ШИМ: использование двух полярностей выходного напряжения, снижает уровень энергопотребления; более точное управление величиной напряжения; высокое быстродействие. Недостатки двухполярной ШИМ: сложность обработки сигнала, т.е. система управления сложнее, чем в инверторах с однополярной ШИМ и дороже; более высокий уровень шума.

Таким образом, система управления СИ с однополярной ШИМ является более простой и надежной в работе. СИ с двухполярной ШИМ имеют высокой точностью и скоростью, кроме того, они несколько дороже.

Структурные схемы системы управления СИ с ШИМ приведены на рисунке 3.

Работа системы управления с однополярной ШИМ. Сформированный в блоке $U_{ЗС}$ задающий сигнал $E_{ЗС}$ поступает на два компаратора (К1 и К2). Генератор пилообразного напряжения (ГПН) генерирует опорный сигнал $U_{оп}$, который также поступает на два компаратора. В компараторах происходит сравнение ведущего сигнала с опорным сигналом. Если $E_{\gamma} > U_{оп}$, то открываются транзистора VT1 и VT3, если же $E_{\gamma} < U_{оп}$, то открываются транзисторы VT2 и VT4 (рис. 1).

Работа системы управления с двухполярной ШИМ. Сформированный в блоке $U_{ЗС}$ сигнал E_{γ} поступает на компаратор К. Опорный сигнал $U_{оп}$ от ГПН также поступает на компаратор на второй вход. В компараторе происходит сравнение сигналов. Если $E_{\gamma} > U_{оп}$, то открываются транзисторы VT1 и VT4, если же $E_{\gamma} < U_{оп}$, то открывается транзисторы VT2 и VT3 (рис. 1).

Таким образом, рассмотренные структурные схемы и особенности работы системы управления СИ по формированию однополярной и двухполярной ШИМ, а также их достоинства и недостатки, позволят разрабатывать энергоэффективные системы в зависимости от требований потребителей к качеству электроэнергии и быстродействию системы управления и защиты.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на улучшение эксплуатационно-технических характеристик СИ за счёт применения в их конструкции новой элементной базы и реализации новых способов преобразования напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока, в том числе синтеза трёхфазной системы напряжений [3, 4].

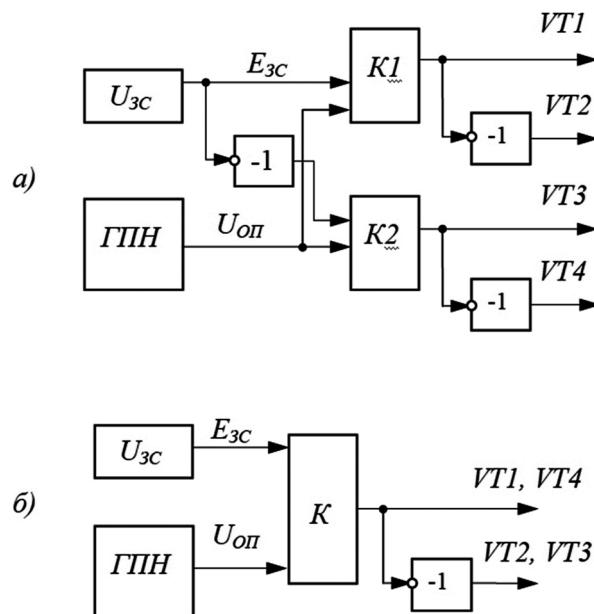


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления СИ:
а – однополярная ШИМ; б – двухполярная ШИМ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/27.

Список литературы:

1. Юдаев И.В. Солнечная электроэнергетика Юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития / И.В. Юдаев, Ю.В. Даус // В сборнике: Альтернативная энергетика в регионах России «АЭР-2018». – 2018. – С. 45–49.
2. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Лысаков А.А. Ветро-солнечная система автономного электроснабжения // Сельский механизатор. – 2018. – № 4. – С. 28–29.
3. Новая элементная база возобновляемых источников электроэнергии : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 202 с.
4. Ветро-солнечный генератор и его характеристики / Я.М. Кашин [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 6. – С. 201–214.

УДК 621.31

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ОБМОТКИ ЯКОРЯ И ОБМОТОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОСНОВНОЙ ГАРМОНИКИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**Князев
Алексей Сергеевич**

Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени А.К. Серова
старший преподаватель кафедры авиационного радиоэлектронного оборудования
knyazev.aleksei.87@gmail.com

**Попов
Андрей Юрьевич**

Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени А.К. Серова
кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры авиационного и радиоэлектронного оборудования
aendryPo@mail.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

**Ярьско
Наталья Евгеньевна**

Кубанский государственный технологический университет
студентка
yaresko@gmail.com

Аннотация. В статье представлен расчет подвозбудителя синхронного генератора для гибридного энергетического комплекса посредством разработанных авторами методик.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэлектростанции, энергетические комплексы, генераторы.

В гибридных энергетических комплексах широко используются генераторы и генераторные установки, преобразующие энергию ветра и Солнца в электроэнергию [1–4]. Они совмещают в себе ветроэнергетические установки (ВЭУ) с фотоэлектрическими преобразователями.

Существенный вклад в развитие электрогенераторов для ВЭУ внесли А.И. Яковлев, М.А. Затучная, В.Н. Меркушев, В.Н. Пашков, В.С. Кривцов, А.М. Олейников, С.А. Ганджа, А.С. Мартьянов. Однако, труды вышеперечисленных авторов посвящены проектированию электрогенераторов для тихоходных ВЭУ. Кроме того, множество параметров, необходимых для расчёта, в данных методиках не вычисляются, а приводятся в виде конкретных чисел. Это не позволяет проектировать новые электрогенераторы для ВЭУ и ГЭК, параметры или условия работы которых отличаются от приведенных в указанных источниках.

Авторами разработан и исследован ряд генераторов и генераторных установок для ГЭК [5–9], а также разработаны методики их расчёта [10–12].

В качестве примера приведем реализации этих методик на примере расчёта подвозбудителя синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов для приведенных выше генераторов.

В качестве исходных данных примем:

1. Номинальная мощность $P_{ном} = 1800 \text{ В} \cdot \text{А}$.
2. Номинальное фазное напряжение $U_{\phi} = 50 \text{ В}$.
3. Число фаз $m = 3$.
4. Номинальная частота вращения $n = 12000 \text{ об/мин}$.

5. Частота $f = 800$, Гц.
6. Коэффициент мощности при номинальной нагрузке $\cos(\varphi) = 0,8$ (отстающий).
7. Предварительное значение линейной нагрузки $A_{ЛР} = 29000$ А/м.
8. Предварительное значение индукции в зазоре $B_{бр} = 0,5$ Тл (самарий-кобальтовые магниты).
9. Относительная ЭДС $E_{отн} = 1,15$.
10. Коэффициент полюсного перекрытия $\alpha_k = 0,67$.
11. Остаточное значение магнитной индукции ПМ $B_{ост} = 1,1$ Тл.
12. Коэрцитивная сила ПМ $H_C = 78000$ А/м.
13. Коэффициент перегрузки по току $k_{кз} = 2$.

Произведем расчет параметров обмотки якоря и обмоточных коэффициентов:

1. Относительный шаг обмотки выберем $y_{отн} = 0,8$.
2. Выбираем минимально допустимый зазор между лобовыми частями соседних витков обмотки якоря: $\Delta_{мин доп} = 0,0025$ м.

$$3. \text{ Число пазов на полюсном делении } \tau_Z = \frac{Z}{2 \cdot p} = 4,5.$$

4. Шаг секции по пазам $y_Z = y_{отн} \cdot \tau_Z = 0,8 \cdot 4,5 = 3,6$ – округляем до ближайшего целого числа, поэтому $y_Z = 4$.

$$5. \text{ Уточнённый относительный шаг обмотки } y_{отн,УТ} = \frac{y_Z}{\tau_Z} = \frac{4}{4,5} = 0,89.$$

$$6. \text{ Высота изолированных проводников в одном слое обмотки } h_{ИЗ} = \frac{d_{из_эл_пров} \cdot N_{лп}}{2} = \frac{0,001 \cdot 4}{2} = 0,002 \text{ м.}$$

7. Вылет прямого участка обмотки из магнитопровода $\Delta_1 = 0,002$ м.

$$8. \text{ Длина прямого участка соединения проводников } \Delta_2 = 1,5 \cdot d_{из_эл_пров} = 0,0015 \text{ м.}$$

9. Угол между проводником секции и торцевой стороной магнитопровода якоря на меньшем диаметре

$$\gamma_{вн} = \arcsin\left(\frac{\Delta_{мин доп}}{b_{Zвн} + b_{П,УТ}}\right) = \arcsin\left(\frac{0,0025}{0,00166 + 0,00475}\right) = 28,6^\circ.$$

10. Угол между проводником секции и торцевой стороной магнитопровода якоря на большем диаметре

$$\gamma_{н} = \arcsin\left(\frac{\Delta_{мин доп}}{b_{Zн} + b_{П,УТ}}\right) = \arcsin\left(\frac{0,0025}{0,00166 + 0,00475}\right) = 28,6^\circ.$$

Для радиального исполнения $\gamma_{вн} = \gamma_{н} = \gamma$.

11. Длина лобовой части секции на меньшем диаметре, м

$$\begin{aligned} L_{лоб,вн} &= 2 \cdot (\Delta_1 + \Delta_2 + \frac{0,5 \cdot y_Z \cdot (b_{Zвн} + b_{П,УТ})}{\cos(\gamma_{вн})}) + \pi \cdot d_{из_эл_пров} \cdot N_{лп,УТ} \cdot (0,5 - \frac{\gamma_{вн}}{360}) + \frac{\pi \cdot h_{ИЗ}}{4} + 2 \cdot 10^{-3} = \\ &= 2 \cdot (0,002 + 0,0015 + \frac{0,5 \cdot 4 \cdot (0,00166 + 0,00475)}{\cos(28,6^\circ)}) + 3,141596 \cdot 0,001 \cdot 4 \cdot (0,5 - \frac{28,6}{360}) + \\ &+ \frac{3,141596 \cdot 0,002}{4} + 0,002 = 0,0435 \end{aligned}$$

12. Длина лобовой части секции на большем диаметре, м

$$\begin{aligned}
 L_{\text{лоб}_H} &= 2 \cdot (\Delta_1 + \Delta_2 + \frac{0,5 \cdot y_Z \cdot (b_{ZH} + b_{Пл_м})}{\cos(\gamma_H)} + \pi \cdot d_{\text{из_эл_пров}} \cdot N_{b_{Пл_м}} \cdot (0,5 - \frac{\gamma_H}{360}) + \frac{\pi \cdot h_{ГБ}}{4} + 2 \cdot 10^{-3} = \\
 &= 2 \cdot (0,002 + 0,0015 + \frac{0,5 \cdot 4 \cdot (0,00166 + 0,00475)}{\cos(28,6^0)} + 3,141596 \cdot 0,001 \cdot 4 \cdot (0,5 - \frac{28,6}{360}) + \\
 &+ \frac{3,141596 \cdot 0,002}{4} + 0,002 = 0,0435
 \end{aligned}$$

Для радиального исполнения $L_{\text{лоб}_{ВН}} = L_{\text{лоб}_{ВН}} = L_{\text{лоб}}$.

13. Длина вылета лобовой части в аксиальном направлении (вдоль оси вращения ротора) на меньшем диаметре

$$L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_{ВН}} \text{ АКС}} = L_{\text{лоб}_{ВН}} \cdot \cos(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}) = 0,0435 \cdot \cos(\frac{0 \cdot 3,141596}{180}) = 0,0435 \text{ м.}$$

14. Длина вылета лобовой части в аксиальном направлении (вдоль оси вращения ротора) на большем диаметре

$$L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_H} \text{ АКС}} = L_{\text{лоб}_H} \cdot \cos(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}) = 0,0435 \cdot \cos(\frac{0 \cdot 3,141596}{180}) = 0,0435 \text{ м.}$$

Для радиального исполнения $L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_{ВН}} \text{ АКС}} = L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_{ВН}} \text{ АКС}} = L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}} \text{ АКС}}$.

Для аксиального исполнения $L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_{ВН}} \text{ АКС}} = L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_H} \text{ АКС}} = 0$.

15. Длина вылета лобовой части в радиальном направлении на меньшем диаметре, м

$$L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_{ВН}} \text{ РАД}} = L_{\text{лоб}_{ВН}} \cdot \sin(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}) = 0,0435 \cdot \sin(\frac{0 \cdot 3,141596}{180}) = 0.$$

16. Длина вылета лобовой части в радиальном направлении на большем диаметре

$$L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_H} \text{ РАД}} = L_{\text{лоб}_H} \cdot \sin(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}) = 0,0435 \cdot \sin(\frac{0 \cdot 3,141596}{180}) = 0 \text{ м.}$$

Для радиального исполнения $L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_{ВН}} \text{ РАД}} = L_{\text{ВЫЛ}_{\text{ЛОБ}_H} \text{ РАД}} = 0$.

17. Минимальный зазор между лобовыми частями проводников соседних секций на меньшем диаметре, м

$$\begin{aligned}
 \Delta_{\text{обм}_{\text{МНН}_{ВН}}} &= (\frac{\pi \cdot (D_{ВН} - 0,5 \cdot L_{\text{лоб}_{ВН}} \cdot \sin(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}))}{Z} - d_{\text{из_эл_пров}}) \cdot \sin(\gamma_{ВН}) = \\
 &= (\frac{3,141596 \cdot (0,0685 - 0,5 \cdot 0,0438 \cdot \sin(\frac{0 \cdot 3,141596}{180}))}{36} - 0,001) \cdot \sin(28,6^0) = 0,0025.
 \end{aligned}$$

18. Минимальный зазор между лобовыми частями проводников соседних секций на большем диаметре, м

$$\begin{aligned}
 \Delta_{\text{обм}_{\text{МНН}_H}} &= (\frac{\pi \cdot (D_H - 0,5 \cdot L_{\text{лоб}_H} \cdot \sin(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}))}{Z} - b_{\text{из_эл_пров}}) \cdot \sin(\gamma_H) = \\
 &= (\frac{3,141596 \cdot (0,0685 - 0,5 \cdot 0,0435 \cdot \sin(\frac{0 \cdot 3,141596}{180}))}{36} - 0,001) \cdot \sin(28,6^0) = 0,0025.
 \end{aligned}$$

Для радиального исполнения $\Delta_{обм_{мин}_{ВН}} = \Delta_{обм_{мин}_{Н}} = \Delta_{обм_{мин}}$.

Так как $\Delta_{обм_{мин}_{ВН}} = \Delta_{мин_{доп}}$ и $\Delta_{обм_{мин}_{Н}} = \Delta_{мин_{доп}}$, то есть величина зазора между лобовыми частями проводников соседних секций не меньше минимально допустимой величины, то продолжаем расчёт.

19. Средняя длина витка секции

$$l_{Вср} = 2 \cdot l_{акт_{УТ}} + L_{лоб_{ВН}} + L_{лоб_{Н}} = 2 \cdot 0,0184 + 0,0435 + 0,0435 = 0,1239 \text{ м.}$$

20. Активное сопротивление фазы (при температуре 20 °С)

$$R_{ЯК} = \frac{w_{\phi_{УТ}} \cdot l_{Вср}}{57 \cdot q_{ЯК_{эл_пров_УТ}} \cdot a_1 \cdot n_1 \cdot n_2} = \frac{96 \cdot 0,1239}{57 \cdot 0,5675 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1} = 0,364 \text{ Ом.}$$

21. Рабочая температура обмотки: выбираем $t_{раб} = 120$ °С.

22. Активное сопротивление фазы при рабочей температуре

$$R_{ЯК_{t_{раб}}} = R_{ЯК} \cdot (1 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot (t_{раб} - 20)) = 0,364 \cdot (1 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot (120 - 20)) = 0,501 \text{ Ом.}$$

23. Относительное значение активного сопротивления фазы

$$R_{ЯК_{отн}} = \frac{R_{ЯК_{t_{раб}}} \cdot I_{ном}}{U_{\phi}} = \frac{0,501 \cdot 12}{50} = 0,12 \text{ Ом.}$$

24. Проводимость рассеяния паза

$$\Lambda_{\Pi} = \frac{(N_{h_{\Pi}} \cdot d_{из_эл_пров} + 0,00025) \cdot (7 + 9 \cdot y_{отн_{УТ}})}{48 \cdot b_{\Pi_{УТ}}} + \left(\frac{0,00025}{b_{\Pi_{УТ}}} + \frac{3 \cdot h_{кл}}{b_{\Pi_{УТ}} + 2 \cdot b_{ц}} + \frac{h_{yc}}{b_{ц}} \right) \cdot \frac{1 + 3 \cdot y_{отн_{УТ}}}{4} =$$

$$= \frac{(4 \cdot 0,001 + 0,00025) \cdot (7 + 9 \cdot 0,89)}{48 \cdot 0,00475} + \left(\frac{0,00025}{0,00475} + \frac{3 \cdot 0,001}{0,00475 + 2 \cdot 0,0017} + \frac{0,001}{0,0017} \right) \cdot \frac{1 + 3 \cdot 0,89}{4} =$$

$$= 1,14$$

25. Проводимость рассеяния по коронкам зубцов

$$\Lambda_{Kz} = \frac{\alpha_k}{\frac{b_{ц}}{\delta} + 0,8} = \frac{0,67}{\frac{0,0017}{0,0006} + 0,8} = 0,18.$$

26. Коэффициент проводимости обмотки $k = 0,334$ для 3-х фазной двухслойной обмотки.

27. Проводимость рассеяния лобовых частей обмотки

$$\Lambda_{ЛОБ} = k \cdot \left(\frac{L_{лоб_{ВН}} + L_{лоб_{Н}}}{2} - 0,64 \cdot y_{отн_{УТ}} \cdot \tau \right) \cdot \frac{q}{l_{акт_{УТ}}} = 0,334 \cdot \left(\frac{0,0435 + 0,0435}{2} - 0,64 \cdot 0,89 \cdot 0,0267 \right) \cdot \frac{1,5}{0,0184} =$$

$$= 0,81$$

28. Суммарная проводимость рассеяния обмотки якоря

$$\Lambda_{S_{ОБМ_ЯК}} = \Lambda_{\Pi} + \Lambda_{Kz} + \Lambda_{ЛОБ} = 1,14 + 0,18 + 0,81 = 2,13.$$

29. Индуктивное сопротивление фазы обмотки якоря

$$X_S = 63 \cdot \left(\frac{w_{\phi_{УТ}}}{100} \right)^2 \cdot \frac{f}{400} \cdot \frac{l_{акт_{УТ}}}{p \cdot q} \cdot \Lambda_{S_{ОБМ_ЯК}} = 63 \cdot \left(\frac{96}{100} \right)^2 \cdot \frac{800}{400} \cdot \frac{0,0184}{4 \cdot 1,5} \cdot 2,13 = 0,76 \text{ Ом.}$$

30. Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки якоря

$$X_{S_{отн}} = \frac{X_S \cdot I_{ном}}{U_\phi} = \frac{0,76 \cdot 12}{50} = 0,18 \text{ Ом.}$$

31. Относительное значение ЭДС при нагрузке (уточненное)

$$E_{отн_{вт}} = \sqrt{(\cos(\varphi) + R_{як_{отн}})^2 + (\sin(\varphi) + X_{S_{отн}})^2} = \sqrt{(0,8 + 0,12)^2 + (0,6 + 0,18)^2} = 1,20$$

$\cos(\varphi)$ берется из исходных данных, $\sin(\varphi) = \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)} = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6$.

Так как $\left| \frac{E_{отн} - E_{отн_{вт}}}{E_{отн}} \right| = \left| \frac{1,15 - 1,20}{1,15} \right| = 0,04 < 0,05$, то есть уточненное значение

$E_{отн_{вт}}$ отличается от принятого в начале расчёта $E_{отн}$ меньше, чем на 5 %, то продолжаем расчёт.

32. Коэффициент распределения обмотки (для трёхфазной двухслойной обмотки) $k_p = \frac{1}{2 \cdot q' \cdot \sin(\frac{\pi}{6 \cdot q'})} = \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot \sin(\frac{3,141596}{6 \cdot 3})} = 0,985$,

где $q' = 3$ – числитель неправильной дроби: при $q = \frac{3}{2}$ имеем $q' = 3$.

33. Коэффициент укорочения обмотки

$$k_y = \sin\left(\frac{y_{омн_{вт}} \cdot \pi}{2}\right) = \sin\left(\frac{0,89 \cdot 3,141596}{2}\right) = 0,96.$$

34. Скос пазов в долях зубцового деления $k_{СК_Z} = 1,0$.

35. Скос пазов по дуге окружности якоря $k_{СК_{окр}} = k_{СК_Z} \cdot t_{Zcp} = 1 \cdot 0,006 = 0,006$ м.

36. Коэффициент скоса пазов

$$k_{СК_{п}} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{k_{СК_{окр}}}{\tau}\right)}{\frac{\pi}{2} \cdot \frac{k_{СК_{окр}}}{\tau}} = \frac{\sin\left(\frac{3,141596}{2} \cdot \frac{0,006}{0,0267}\right)}{\frac{3,141596}{2} \cdot \frac{0,006}{0,0267}} = 0,98.$$

37. Обмоточный коэффициент основной гармоники

$$k_{0_{вт}} = k_p \cdot k_y \cdot k_{СК_{п}} = 0,985 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 0,926.$$

Список литературы:

1. 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.
2. Двухмерная электрическая машина-генератор для автономных систем электроснабжения / Б.Х. Гайтов [и др.] // Наука. Техника. Технология (политехнический вестник. – 2013. – № 1–2. – С. 66–69.
3. Пат. 2688923 RU. 22.03.2018. Аксиальная многофазная двухвходовая электрическая машина-генератор / Я.М. Кашин, Г.А. Кириллов, А.Б. Варенов, А.В. Артемьев // Оpubл. 23.05.2019. Бюл № 15.
4. Пат. 2688925 RU. 22.03.2018. Стабилизированный вентильный аксиально-конический ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // Оpubл. 23.05.2019 г. Бюл № 15.
5. Ветросолнечная двухвходовая генераторная установка / Я.М. Кашин [и др.] // Сельский механизатор. – 2019. – № 7. – С. 32–34.

6. Перспективные разработки для систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов [и др.] // Наука Кубани. – 2014. – № 4. – С. 39–44.
7. Пат. 2759598 RU, 01.04.2021. Стабилизированная трехходовая аксиально-радиальная электрическая машина-генератор / Я.М. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 16.11.2021. Бюл № 32.
8. Пат. 2763044 RU, 01.04.2021. Трехходовая аксиально-радиальная электрическая машина-генератор / Я.М. Кашин, // Оpubл. 27.12.2021. Бюл № 32.
9. Пат. 2748225 RU, 20.10.2020. Вертикально-осевая трёхходовая генераторная установка / Я.М. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 21.05.2021. Бюл № 15.
10. Методика расчета основных параметров синхронного генератора для гибридных энергетических комплексов и ее реализация / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки. – 2019. – Вып. 2(241). – С. 95–106. – URL : <http://vestnik.adygnet.ru>
11. Методика расчета синхронных электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов для ветро-солнечных генераторных установок / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки. – 2017. – Вып. 1(196). – С. 95–106. – URL : <http://vestnik.adygnet.ru>
12. Методика расчета магнитных цепей якоря и индуктора синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов для гибридных энергетических комплексов и ее реализация / Б.Х. Гайтов [и др.] // Электронный сетевой политематический научный журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 6. – С. 178–200 [Электронный ресурс]. – URL : <https://elibrary.ru/contents.asp?id=40537087>

РОТОРНЫЕ ВЕТРОУСТАНОВКИ: ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ, ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Креймер
Алексей Семёнович**

Кубанский государственный аграрный университет
доцент кафедры компьютерных технологий и систем,
кандидат технических наук, доцент
kramer.a@kubsau.ru

**Хицкова
Алина Олеговна**

Кубанский государственный аграрный университет
старший преподаватель кафедры электрических машин
и электропривода
hickovaa@kuben.elektra.ru

Аннотация. Раскрыты особенности работы роторных ветроустановок в сравнении с горизонтально-осевыми установками, их достоинства и недостатки. Показано что перспективы их связаны с применением в составе с другими источниками электроэнергии для электроснабжения потребителей, удаленных от внешних энергетических систем.

Ключевые слова: роторные ветроустановки, солнечные фотоэнергетические установки, малые фермерские хозяйства.

Роторные ветроустановки (РВ) конструктивно представляют собой ветро-энергетическую установку с вертикально-осевой конструкцией ветроколеса [1]. В сравнении с горизонтально-осевыми ветроустановками РВ имеют следующие особенности:

- ветроколесо приходит в движение независимо от направления ветрового потока;
- ветровой поток воздействует одновременно на рабочую и обратную стороны лопастей ветроколеса, что несколько снижает энергетическую эффективность установки;
- вторая особенность не позволяет их выполнять на большие мощности.

Основная особенность работы РВ, связана с в направлении вектора приложения усилия ветрового потока. Если для ветроустановок с горизонтально-осевым колесом усилие ветра на лопасть приходится на наклонную поверхность и вращение осуществляется за счёт сдвига, то в РВ воздушные потоки пульсируют, воздействуя на лопасть во фронтальном направлении, что позволяет максимально использовать кинетическую энергию ветра. Однако, одновременное контактирование ветрового потока с лицевой и обратной стороной лопасти, создает противодействующее, тормозящее вращение. Это является основной причиной меньшей эффективности РВ по сравнению с горизонтально-осевыми установками.

Основные достоинства РВ:

- отсутствует необходимость введения в конструкцию элементов наведения ветроколеса на ветер, что значительно упрощает механическую конструкцию установки и повышает надёжность её работы;
- способны работать от ветровых потоков, находящихся невысоко от поверхности земли, т.е. дополнительную защиту от турбулентности воздушных потоков устанавливать не нужно и высокие мачты для их работы не нужны;
- простая конструкция позволяет изготавливать самостоятельно для этого не нужно сложное оборудование.

Основные недостатки РВ:

- ниже энергоэффективность в сравнении с горизонтально-осевыми установками;
- при ураганных или шквалистых ветрах в установках должна быть предусмотрена защита.

Наиболее значимым достоинством РВ, которое практически перекрывает их недостатки, это простые технологии их изготовления, при этом, для этого может быть использован подручный материал и не сложные инструменты.

РВ большой мощности требуют больших ветровых потоков (от 6–7 м/с) даже для работы на холостом ходу, из-за большой массы ветроколеса и значительного его

сопротивления ветровому потоку. Поэтому в настоящее время применяются РВ не большой мощности, как правило, до 5 кВт.

Рассматривая РВ с точки зрения выгоды, в том числе, энергоэффективности, можно лишь в сравнении с какими-либо другими источниками электроэнергии, при этом, оценивать нужно работу источников для конкретной местности и конкретных потребителей электроэнергии.

Когда, к примеру, сопоставить сетевую энергию и РВ, то вариант электроснабжения потребителей от сетей получит значительный эффект. Поскольку энергия поступает постоянно. Единственным недостатком может быть периодические перебои в электроснабжении и относительно низкое качество электроэнергии, получаемой удаленными потребителями.

Если РВ сравнивать с солнечными фотоэнергетическими установками, то можно отметить их положительное качество – это независимость от времени суток и погодных условий. При этом, совместное применение РВ и солнечных электростанций значительно повышает энергоэффективность системы электроснабжения, в особенности в случаях электроснабжения автономных потребителей, расположенных вдали от внешней энергетической системы [1, 2].

Решением вопроса, обеспечения электроэнергией потребителей от собственного источника электроэнергии является самостоятельное изготовление РВ.

Для создания РВ требуются соответствующие материалы. Приобрести необходимо генератор (автомобильный или тракторный), аккумуляторные батареи, контроллер заряда, инвертор и контрольно-измерительные приборы.

Перспективным является направление разработки мобильных ветро-солнечных электростанций для электроснабжения малых фермерских хозяйств, занимающихся производством рыбы, мёда, выращиванием овощей, удаленных от внешней энергетической системы. Таки станции оборудуются на базе автоприцепа и комплектуются одним или двумя РВ, солнечными и аккумуляторными батареями, контроллером, инвертором и бензогенератором. Как правило, суммарная мощность комбинированных мобильных станций составляет от 2 до 5 кВт [1, 3].

Преимущества мобильных электростанций:

- обеспечивают электроэнергией потребители, удаленных от внешней энергосистемы, кроме того, способны обеспечивать электроэнергией потребители в труднодоступных районах;
- бесперебойное и качественное энергоснабжения потребителей;
- высокая энергетическая эффективность, за счет возможности оптимизации режимов работы источников и потребителей электроэнергии;
- РВ генерируют электроэнергию при скоростях ветра от 1,5 м/с, а повышение КПД солнечных батарей обеспечивается не дорогостоящими устройствами слежения за солнцем, а счёт ручного перемещения прицепа через каждые 2-3 часа;
- простой монтаж и незначительные затраты на техническое обслуживание.

Улучшить технические характеристики РВ можно за счёт применения в их конструкции бесконтактных генераторов электроэнергии [4].

Таким образом, широкие перспективы раскрываются перед РВ при применении их с другими источниками электроэнергии для электроснабжения потребителей электроэнергии малых фермерских хозяйств, удаленных от внешней энергетической системы.

Список литературы:

1. Энергоэффективные и энергосберегающие автономные системы электроснабжения на ветро-солнечных электростанциях для малых фермерских хозяйств : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 180 с.
2. Амерханов Р. А., Кириченко А.С., Касьянов Р.С. Возможности использования возобновляемых источников энергии Краснодарского края // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 13–14. – С. 12–25.
3. Григораш О.В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края / О.В. Григораш, А.А. Хамула, А. В.Квитко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубан. Гос. аграрного университета. – 2013. – № 92. – С. 630–641.
4. Богатырев Н.И., Ванурин В.Н., Оськина Г.М. и др. Статорная комбинированная обмотка асинхронного генератора. Патент на изобретение RU 22492890 С1, 27.03.2005.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Кумейко
Андрей Анатольевич**

Кубанский государственный аграрный университет
старший преподаватель кафедры электрических машин
и электропривода, кандидат технических наук
andrei.kumejko@yandex.ru

**Азарян
Александр Ашотович**

Кубанский государственный аграрный университет
ассистент кафедры электротехники, теплотехники
и возобновляемых источников энергии
sashiko.az@yandex.ru

**Дубовской
Александр
Владимирович**

Кубанский государственный аграрный университет
студент
dav20032012@yandex.ru

Аннотация. Проводится анализ мощностей и особенностей работы потребителей электроэнергии малых фермерских хозяйств. Показано, что применение ветро-энергетических и солнечных энергетических установок повысить рентабельность сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, малые фермерские хозяйства, энергоэффективность, рентабельность производства.

Большую роль в развитии сельского хозяйства играют малые фермерские хозяйства (МФХ). К сожалению, даже хозяйства, находящиеся вблизи сетей электроснабжения, сталкиваются с рядом проблем: колебания и отклонения напряжений от номинальных значений; аварийное состояние электрических сетей, что приводит к частым отключениям электроэнергии. Все эти факторы сказываются на показателе рентабельности хозяйств, занимающихся производством сельскохозяйственной продукции. Поэтому владельцы мелких хозяйственных предприятий, или даже своих жилых домов, рассматривают варианты перехода на альтернативное электроснабжение, в том числе, используя возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Таким образом, сегодня актуальным является вопрос повышения рентабельности МФХ и решить этот вопрос могут энергоэффективные источники электроэнергии: ветроэнергетические и солнечные фотоэнергетические установки (ВЭУ и СФЭУ). Кроме того, применение комбинированных систем электроснабжения, выполненных на традиционных и ВИЭ, для электроснабжения автономных потребителей электроэнергии МФХ повысит надёжность, в том числе, бесперебойность, и качество их электроснабжения [1, 2].

Электроснабжение МФХ, как правило, не отличается от электроснабжения частного дома. Энергопотребление не выходит за пределы 35 кВт·ч. В технологических процессах хозяйств не требуется мощное электрооборудование это как правило, электроинструменты, механизированные установки и осветительная нагрузка. Обычно основные энергетические затраты приходятся на обеспечение жизнедеятельности обслуживающего персонала, т.е. обеспечение электроэнергией бытовую технику (телевизор, микроволновая печь, холодильник, электрочайник т.п.).

Отличительной чертой МФХ является их нерегулярное потребление электроэнергии. Периоды, когда нет необходимости в электроснабжении достаточно большие. Рабочее время некоторых потребителей достигает нескольких недель в год. При таких режимах эксплуатации электрооборудования эффективно могут использоваться ВИЭ.

Экономическая эффективность применения ВИЭ значительно повышается при удалении автономных потребителей электроэнергии от внешней энергетической си-

стемы. Как правило, при расстояниях превышающих один километр, окупаемость комбинированных систем электроснабжения, выполненных на ВИЭ, составляет несколько сезонов [3]. ВИЭ могут работать и с внешней сетью, но в этом случае энергию должны вырабатывать возобновляемые источники и только при низком уровне ветровых потоков и солнечной радиации источником для потребителей электроэнергии должна быть внешняя сеть. При такой работе уменьшатся сроки окупаемости ВИЭ [4, 5].

Краснодарский край является одним из регионов нашей страны, занимающийся производством мёда. Современное пчеловодство приобрело ряд преимуществ, благодаря внедрению различных технических средств, которые для своей работы требуют электроэнергию. Потребляемая энергия в сутки профессионального оборудования не превышает 5–7 кВт·ч.

Рыбоводство также является одним из важных направлений агропромышленного комплекса Краснодарского края. Для малых хозяйств нет необходимости в дорогом оборудовании, все можно сделать своими руками с помощью ручного инструмента. Основную нагрузку на электропотребление составляет домик рыбака, где персонал может жить продолжительное время. Суточное потребление энергии оборудования, применяемого в технологических процессах рыбных хозяйств и обеспечивающего жизнедеятельность обслуживающего персонала не превышает 15 кВт·ч.

С течением времени содержание крупного рогатого скота приобрело коммерческий характер даже в небольших масштабах. Чем чище и экологичнее продукт, тем выше на него цена и спрос. Для этого владельцы малых фермерских хозяйств арендуют пастбища вдали от дорог и с обильно растущей травой.

В подобных условиях требуется электрооборудование, прежде всего, для обеспечения нормальных бытовых условий жизни рабочих. В большинстве случаев производители молочной продукции в МФХ перешли на доильные аппараты, которые заменили ручной труд. Так же коров нужно поддерживать в чистоте, для чего и используют автомойки. Среднее суточное электропотребление энергии малых хозяйств (до 20 голов КРС) составляет около 30 кВт·ч.

Овцеводство – одна из важнейших отраслей животноводства. Овцы хорошо приспособлены к пастбищному содержанию. Поэтому, для их содержания не требуется больших затрат. Основную нагрузку составляют бытовые приборы. Поэтому, возобновляемая энергетика для этого вида малых фермерских хозяйств является востребованной. Одним из наиболее распространенных видов получения энергии в подобных условиях, является солнечная энергия. Средняя суточная потребленная мощность овцеводческих хозяйств не превышает 20 кВт·ч.

Солнечная энергетика всё больше находит широкое применение для обеспечения температурно-влажностного режима теплиц. Традиционные способы поддержания температурного режима, используя радиаторы, связаны с большими энергозатратами. Применение солнечных коллекторов, производящих нагрев материала-теплоносителя или солнечных воздушных коллекторов значительно понижает энергозатраты и в комплексе повышается энергоэффективность теплиц.

Повышение эффективности энергосистем, выполненных на базе ветро-солнечных электростанций можно за счёт применения в их структуре современной элементной базы, включая инверторы напряжения с промежуточным высокочастотным преобразованием, однофазно-трёхфазные трансформаторы с вращающимся магнитным полем, бесконтактные генераторы электроэнергии, бесконтактные коммутационные аппараты [2, 4].

Таким образом, для обеспечения электроэнергией технологические процессы и жизнедеятельность обслуживающего персонала МФХ требуются источники электроэнергии с суммарной мощностью 3–4 кВт, включая мощность аккумуляторных батарей. Учитывая ограниченность традиционного топлива перспективы ВИЭ в сельскохозяйственном производстве очевидны.

Список литературы:

1. Юдаев И. В., Даус Ю.В. Солнечная электроэнергетика Юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития // В сборнике: Альтернативная энергетика в регионах России «АЭР-2018». – 2018. – С. 45–49.

2. Энергоэффективные и энергосберегающие автономные системы электро-снабжения на ветро-солнечных электростанциях для малых фермерских хозяйств : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 180 с.

3. Григораш О. В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края / О. В. Григораш, А. А. Хамула, А. В. Квитко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 92. – С. 630–641.

4. Богатырев Н.И., Ванурин В.Н., Оськина Г.М. и др. Статорная комбинированная обмотка асинхронного генератора. Патент на изобретение RU 22492890 С1, 27.03.2005.

5. Амерханов Р.А., Кириченко А.С., Касьянов Р.С. Возможности использования возобновляемых источников энергии Краснодарского края // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 13–14. – С. 12–25.

УДК 621.383

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА ЛАКОКРАСОЧНОГО ЗАВОДА

Попов С.А.**Кубанский государственный технологический университет**
канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
sa_popov@inbox.ru**Асташов М.А.****Кубанский государственный технологический университет**
инженер кафедры электротехники и электрических машин
i.am.jlaku@gmail.com**Гурьев К. Д.****Кубанский государственный технологический университет**
магистрант
gurev-k@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена применению возобновляемых источников энергии, а именно солнечных панелей, как дополнительный источник энергии для электроснабжения цеха лакокрасочного завода.

Ключевые слова: солнечные панели, ремонтно-механический цех, гибридные преобразователи, экология, возобновляемые источники энергии, солнечная энергия.

В связи с активным развитием промышленности все большую популярность приобретают источники электроэнергии, генерация энергии которых происходит за счет использования возобновляемых источников энергии (далее ВИЭ) [1–10]. Это связано с исчерпанием основных угольных и нефтегазовых ресурсов, а так же за счет экологических угроз. В данной работе рассматривается возможность использования установок на ВИЭ в качестве дополнительно независимого источника электроснабжения для потребителей ремонтно-механического цеха лакокрасочного завода для сокращения потребления электроэнергии.

В качестве ВИЭ выберем электротехнический комплекс на базе солнечных панелей (рис. 1).

Солнечные панели следует разместить на крыше цеха, так как при этом будет вырабатываться максимум электроэнергии, а так же солнечные панели не будут оказывать отрицательного влияния на технологический процесс завода. При этом площадь крыши будет, как правило, равна площади здания. Для нашего примера площадь цеха составляет $S_{\text{цеха}} = 1584 \text{ м}^2$, номинальная мощность $S_{\text{ном}} = 310 \text{ кВт}$, $\cos\varphi = 0,8$.

Рассчитаем площадь солнечных панелей, которые можно разместить на крыше приведенного цеха по формуле:

$$S = 0,9 \frac{l}{\cos\alpha} \cdot b, \quad (1)$$

где l и b – соответственно длина и ширина здания; α – угол наклона солнечных панелей, для г.Краснодар $\alpha = 36^\circ$; $0,9$ – коэффициент, учитывающий площадь технических проходов для обслуживания.

Вследствии чего фактическая площадь солнечных панелей будет равна $S = 1760 \text{ м}^2$. В качестве сборных модулей будем использовать солнечную батарею SIP280-5BB PERC, с номинальной мощностью 280 Вт , $\eta = 17,40\%$, $S_{\text{бат}} = 1,61 \text{ м}^2$.

Для расчета фактической энергии, получаемой от электротехнического комплекса на базе солнечных панелей необходимо учесть сумму солнечной радиации падающей на горизонтальную поверхность для одних среднестатистических суток, которая приведена в таблице 1 [11].

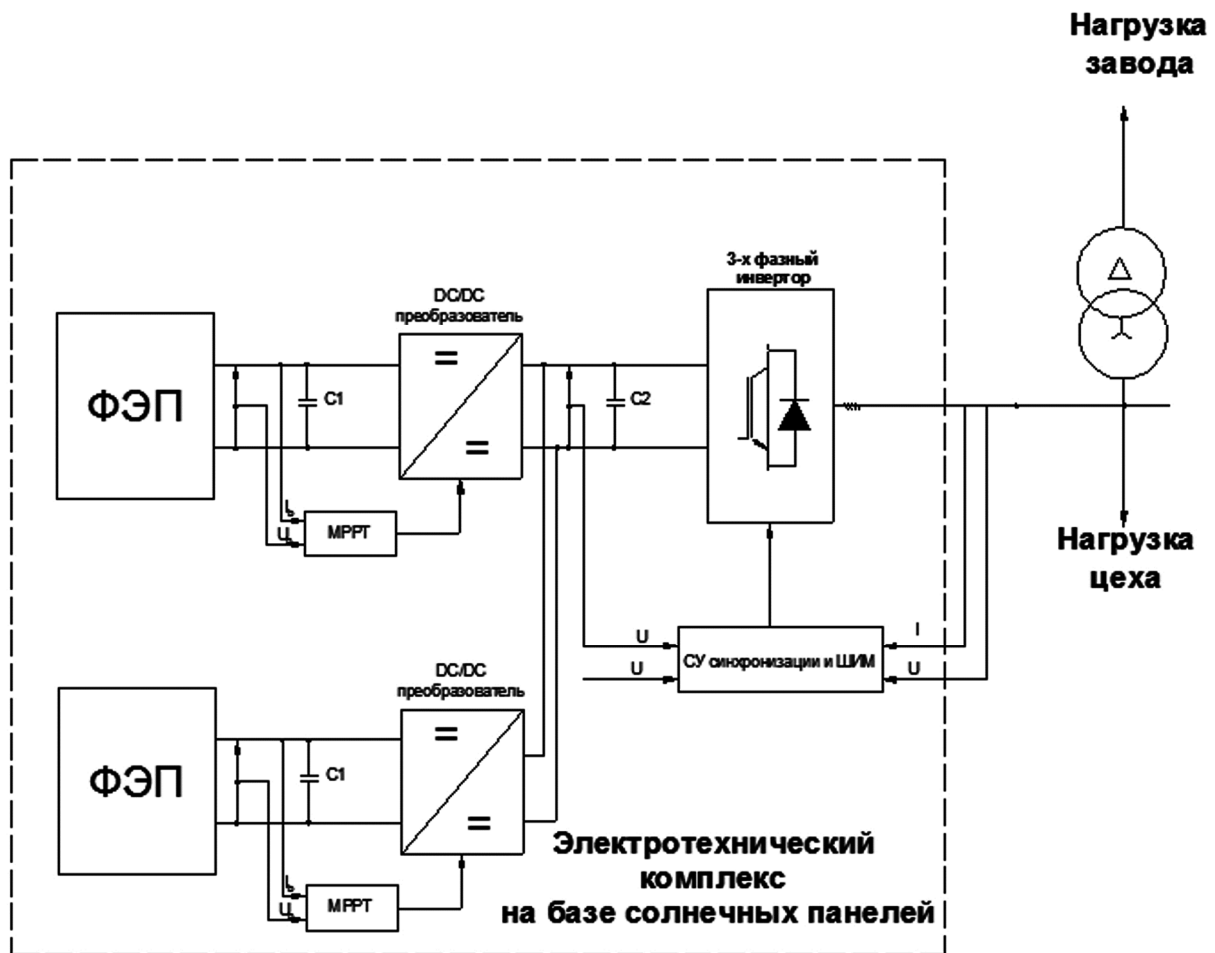


Рисунок 1 – Схема подключения электротехнического комплекса на базе солнечных панелей к нагрузке цеха и завода

Таблица 1 – Солнечная радиации на единицу площади

Время измерения, ч	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Энергия, Вт/м ²	10	10	10	10	10	10	10	10	25	50	110	380
Время измерения, ч	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Энергия, Вт/м ²	360	280	110	25	10	5	5	5	5	5	5	5

На основании таблицы 1 можно определить фактическую мощность солнечной панели, воспользовавшись следующей формулой:

$$E = \frac{I \cdot V \cdot k_0 \cdot k_{пот}}{U_{исп}}, \quad (2)$$

где E – фактическая мощность одной панели, Вт; I – количество солнечной энергии кВт / м²; V – номинальная мощность одной солнечной панели Вт, k_0 – поправочный коэффициент, зависящий от угла наклона солнечной панели, $k_{пот}$ – коэффициент потерь (0,94), $U_{исп}$ – интенсивность солнечной радиации, кВт/м²

Тогда воспользовавшись таблицей 1 получим следующий график (рис. 2) фактической выработки мощности всеми солнечными панелями (1093 штуки).

Согласно [11] суточный график потребления электроэнергии ремонтно-механического цеха лакокрасочного завода для активной мощности будет выглядеть следующим образом (рис 3.)

Совместив графики с рисунков 2 и 3 получим итоговый график процентное соотношение выработанной мощности солнечной панели к потребляемой мощности цеха рисунок 4.



Рисунок 2 – Фактическая суточная выработка электроэнергии электротехническим комплексом с солнечными панелями



Рисунок 3 – График суточного потребления активной мощности

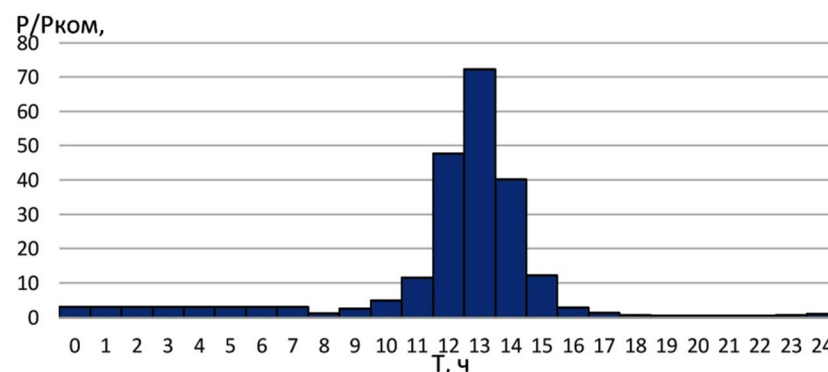


Рисунок 4 – Процентное соотношение выработанной мощности солнечной панели к потребляемой мощности цеха

Как видно из расчетного графика электротехнический комплекс с солнечными панелями компенсирует до 70 процентов мощности в пиковые для себя часы работы и практически сводится к нулю в часы отсутствия солнечной активности. Эффективность применения солнечных панелей на промышленном предприятии зависит от количества смен работы предприятия. Наиболее эффективным и технико-экономически выгодным, будет применения данного рода комплекса для административных зданий или цехов график работы которых состоит только из одной дневной смены. Так же стоит отметить, что большую роль для установки солнечных панелей играет географическое расположение промышленного предприятия и наличия дополнительных независимых источников питания. Солнечные панели ввиду своей полной независимости от источников питания могут быть использованы как третий независимый источник питания для потребителей электроэнергии I категории, как альтернатива бензогазовым генераторам, ввиду соизмеримой стоимости обоих.

Список литературы:

1. Пат. РФ № 215201, Оpubл. 02.12.2022. Бюл. № 34. Стабилизированная гибридная аксиальная электрическая машина- генератор // Попов С.А., Асташов М.А., Кривченков В.И.

2. Пат. РФ № 217134, Опубл. 20.032023. Бюл. № 8. Стабилизированная гибридная электрическая машина- генератор // Попов С.А., Асташов М.А., Кривченков В.И., Попова С.В.

3. 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.

4. Методика расчета предварительных геометрических параметров гибридной электрической машины-генератора / С.А. Попов [и др.] // Электронный сетевой долитематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 1. – С. 50–57.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. Иванченко В.Т., Гражданкин А.А. Уточнение солнечного климата г. Краснодара для эффективной работы солнечных батарей в жилых зданиях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 4. – С. 47–51.

12. Рокотян С.С. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.

УДК 621.311.29

ИЗМЕРЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ В ТРЕКЕРЕ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

**Попов
Сергей Анатольевич**

Кубанский государственный технологический университет
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
sa_popov@inbox.ru

**Кривченков
Владимир Игоревич**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант кафедры электротехники и электрических машин
vidmrkr5@ya.ru

**Икоев
Роман Валерьевич**

Кубанский государственный технологический университет
студент
rka_07@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке измерительной части схемы трекера для солнечной батареи. Для соединения аккумулятора и солнечной батареи применен ШИМ-контроллер. Между ШИМ-контроллером и аккумулятором включена измерительная схема, сигнал с которой поступает на АЦП микроконтроллера, где затем масштабируется и фильтруется для получения требуемого качества сигнала.

Ключевые слова: солнечная батарея, трекер, измерение, аналоговый сигнал, система управления, фильтрация сигнала.

Трекером для солнечной батареи (солнечным трекером) называется специальное устройство, которое ориентирует солнечные панели таким образом, чтобы проходящее излучение было максимально перпендикулярно плоскости панелей [1].

Такой трекер может строиться по двум принципам – в виде разомкнутой системы управления или в виде замкнутой. В первом случае управляющий контроллер реализует заданное перемещение панелей в течение суток по исходным данным – координатам местности и времени. Во втором случае в системе есть обратная связь, и позиция панелей полностью зависит от этой обратной связи (за исключением крайних положений восхода и заката).

Обратная связь в таких системах чаще всего реализуется при помощи датчиков освещенности (фоторезисторов) различных конструкций (рис. 1). Для устранения основного недостатка конструкции с датчиком – снижения надежности ввиду и отсутствие учета отраженного излучения – в [2] был разработан алгоритм слежения для наклонного одноосевого трекера, который позволит избавиться от датчиков освещенности и использовать отраженное излучение Солнца.

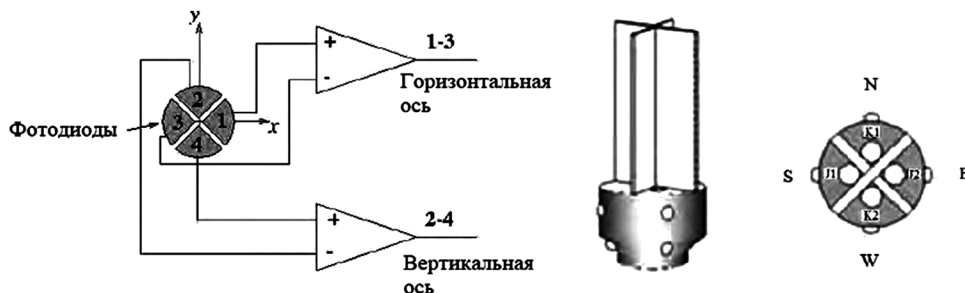


Рисунок 1 – Пример схемы и общего вида датчика освещенности

Основу указанного алгоритма составляет измерение выходных параметров солнечной панели (напряжение, ток, мощность) и принятии соответствующего решения

о дальнейшем ее перемещении. При этом значительное влияние на точность позиционирования панели будет оказывать точность измерений, проводимых управляющей частью солнечной установки.

С целью отработки алгоритма ориентирования и получения экспериментальных данных была спроектирована установка, которая описана в [3]. В экспериментальную установку добавлен серийный контроллер заряда Delta PWM 2410 (рис. 2), являющийся ШИМ-контроллером. К его разъемам подключается солнечная панель, аккумуляторная батарея и нагрузка (12/24 В).

Поскольку указанный ШИМ-контроллер не предоставляет обратной связи по току и напряжению солнечной панели и аккумулятора, возникает необходимость доработки схемы установки – измерительной части.

Классический метод измерения сигнала с ШИМ при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера состоит в синхронизации периода ШИМ и измерений АЦП. Однако, при отсутствии информации о периоде ШИМ-сигнала, который формирует контроллер заряда, и о изменении его скважности синхронизировать измерения не представляется возможным.



Рисунок 2 – ШИМ-контроллер заряда

Ввиду указанных причин, требуется изменение аппаратной части схемы установки и применение соответствующих микросхем-мониторов тока с функцией устранения влияния ШИМ. Соответственно, была разработана измерительная плата на основе микросхемы INA240 (рис. 3, 4), которая устанавливается в разрыв цепи между ШИМ-контроллером и аккумулятором.

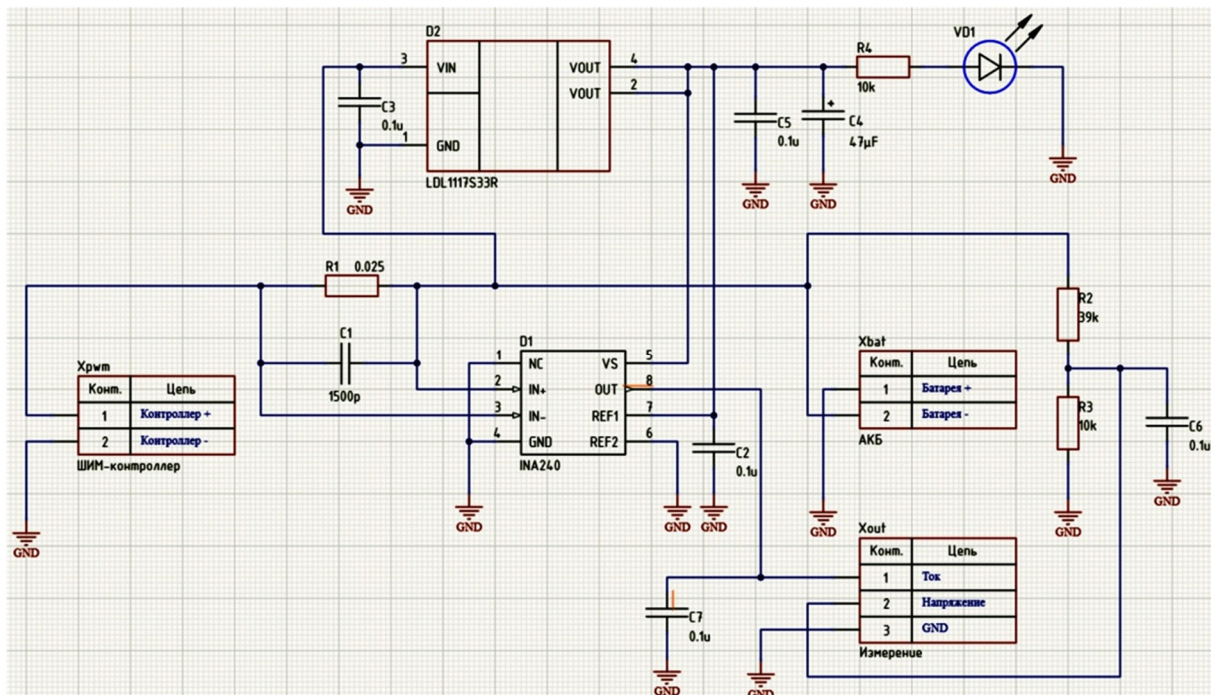


Рисунок 3 – Схема измерительной части

На схеме по рисунку 3 падение напряжения на шунте R1 передается на вход микросхемы D1, которая на своем выходе формирует пропорциональный току сигнал. При этом выходной сигнал имеет смещение +2,5 В относительно нуля, что позволяет измерять токи как заряда, так и разряда батареи. Синфазный сигнал на входе D1 составляет +11...+14 В, что допустимо для микросхемы INA240 (до +80 В). Применена микросхема INA240A1 с коэффициентом усиления 20 В/В и шунт 0,025 Ом, следовательно, коэффициент преобразования по току составит 0,5 В/А.

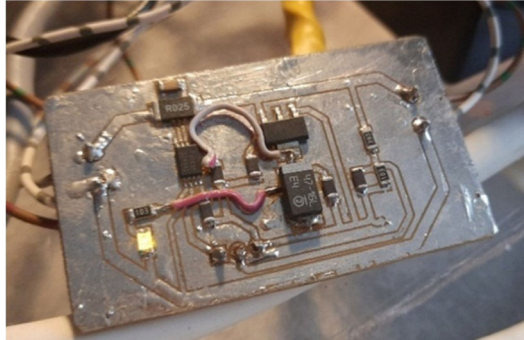


Рисунок 4 – Измерительная плата

На делителе R2/R3 происходит формирование сигнала напряжения аккумуляторной батареи (коэффициент 0,204). Далее с выходного разъема измеренные сигналы напряжения и тока поступают на входы АЦП микроконтроллера STM32F411.

Часть программы микроконтроллера, отвечающая за измерение аналогового сигнала показана на рисунке 5. Первоначально сигналы масштабируются, поскольку измерение АЦП проходит в диапазоне 0–3,3 В. Для масштабирования применены описанные выше коэффициенты и разрешающая способность 12-битного АЦП – 4095 значений.

```

364 void meas_adc(void) {
365
366     ADC1->CR2 |= ADC_CR2_JSWSTART;
367     while((ADC1->SR & ADC_SR_JEOC)==0);
368     // |Напряжение на вх. АЦП | |1/Коэф.делителя |
369     bat_volt = (float)( (((ADC1->JDR1)*3.3)/4095) * 4.9 ); // CH1
370     // |Напряжение на вх. АЦП | |В на 1А|
371     bat_curr = (float)( (((ADC1->JDR3)*3.3)/4095) / 0.5 ); // CH3
372
373     bat_volt_filt = filter_bv(bat_volt);
374     bat_curr_filt = filter_bc(bat_curr);
375     solar_power = solar_volt_filt * solar_curr_filt;
376     solar_power_filt = filter_sp(solar_power);
377
378 }

```

Рисунок 5 – Функция измерения АЦП

Поскольку в установке присутствуют источники помех, которые оказывают значительное влияние на измерение аналогового сигнала (ШИМ-контроллер, инвертор двигателя), в функцию измерения также добавлена фильтрация измеренных сигналов (рис. 6).

Для каждого измеренного сигнала добавлен фильтр, реализованный по принципу «бегущего среднего». Принцип работы такого фильтра можно описать следующим образом:

Фильтр. знач. = Фильтр. знач. + (Нов. знач. – Фильтр. знач.) * Коэфф.

На рисунке 7 приведена временная диаграмма измеренного сигнала напряжения аккумуляторной батареи. Здесь желтой линией показано значение до фильтра, а зеленой (более плавная линия) – значение после фильтра. Колебания исходного сигнала в диапазоне $\pm 0,5$ В значительно уменьшены.

Таким образом, была разработана измерительная часть схемы и реализовано измерение аналоговых сигналов на микроконтроллере, с помощью фильтрации сигналов удалось добиться удовлетворительной формы измеренных значений, которые в дальнейшем будут использованы в алгоритме ориентирования солнечных панелей.


```

273 // Фильтры - Бегущее среднее *****
274 float filter_bv(float newVal_bv) {
275
276     static float filtVal_bv = 0;
277
278     filtVal_bv += (newVal_bv - filtVal_bv) * kFilt_bv;
279
280     return filtVal_bv;
281 }
282

```

Рисунок 6 – Функция фильтрации сигнала ($kFilt_bv = 0,01$)

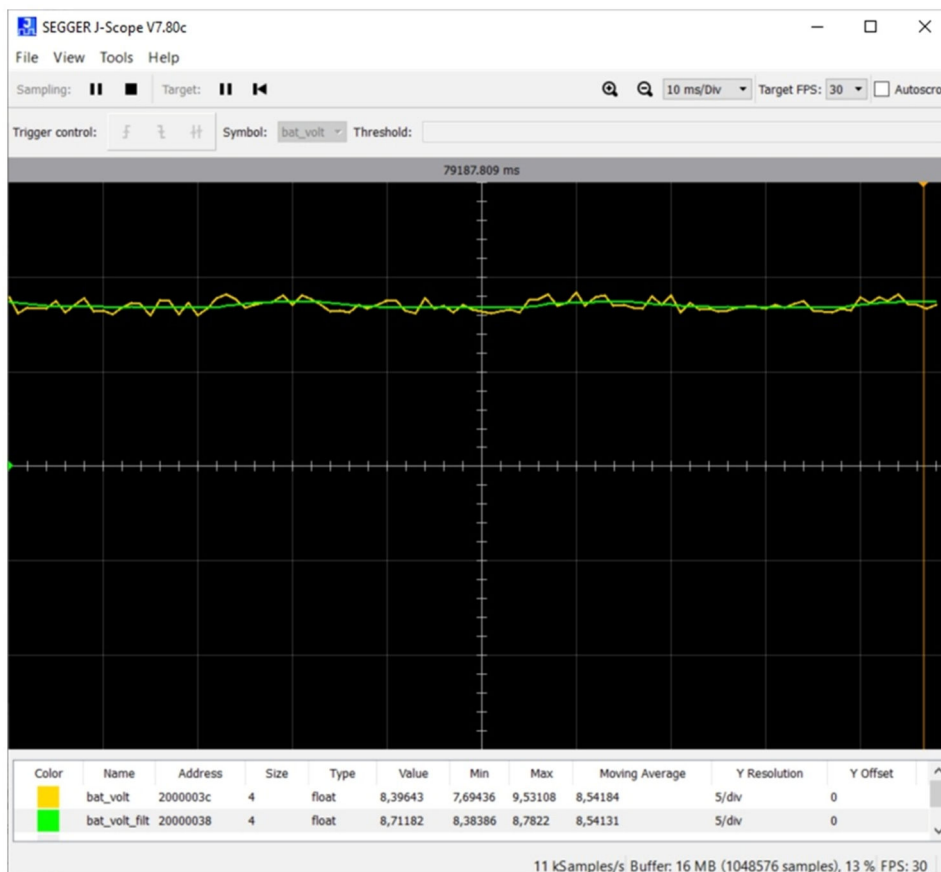


Рисунок 7 – Результат фильтрации сигнала

Список литературы:

1. Попов С.А., Кривченков В.И. Актуальность применения и виды систем навешивания 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. Попов С.А., Кривченков В.И., Помещенко Д.Н. Экспериментальная установка трекера для солнечной батареи // Материалы тринадцатой Международной научной конференции «Технические и технологические системы «ТТС-22». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 211–214.

РАСЧЕТ НАГРУЗОК И ВЫБОР ПРИВОДА СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА

**Попов
Сергей Анатольевич**

Кубанский государственный технологический университет
канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники
и электрических машин
sa_popov@inbox.ru

**Кривченков
Владимир Игоревич**

Кубанский государственный технологический университет
аспирант
vldmrkr5@ya.ru

**Ибеоджо
Годвин Оджоре**

Кубанский государственный технологический университет
студент
ibeojogodwin@yahoo.com

Аннотация. В статье описаны виды применяемых приводов систем ориентирования солнечных панелей (солнечных трекеров), приведены графики изменения углов слежения трекера. Необходимая скорость вращения электродвигателя описана с точки зрения режима работы привода трекера. Расчет момента привода дан исходя из наличия на его валу ветрового момента и момента инерционной массы. Описаны типы применяемых электродвигателей и подход к их выбору.

Ключевые слова: солнечный трекер, солнечная панель, электропривод, система ориентирования.

Введение

Применение солнечного трекера, представляющего из себя систему ориентирования солнечных панелей, позволяет увеличить выработку электроэнергии панелями, благодаря оптимизации угла падения лучей [1]. Значение абсолютных показателей такой прибавки может различаться в зависимости от широты местности и погодных условий [2].

Солнечный трекер хоть и повышает выработку фотоэлемента в то же время сам потребляет энергию $A_{тр}$, которую можно разделить на потери в системе управления – $A_{СУ}$, потери на работу привода – $A_{пр}$ и потери в механической передаче – $A_{мех}$:

$$A_{тр} = A_{СУ} + A_{пр} + A_{мех}. \quad (1)$$

Наибольшей величиной в уравнении (1) являются потери на работу привода системы ориентирования, в связи с чем выбор привода очень важен для создания энергоэффективной системы.

Количество приводов в системе ориентирования может отличаться и зависит от количества используемых осей ориентирования (по азимуту и по высоте Солнца [3]) и применения группового привода.

Виды приводов солнечных трекеров

Согласно ГОСТ Р 57229-2016 в качестве привода системы ориентирования солнечных панелей может применяться электропривод, гидропривод и пассивный привод.

Наиболее распространен ввиду высокой надежности, гибкости настройки и точности регулирования электропривод различных типов: линейный и поворотный, индивидуальный и групповой.

При использовании линейного привода солнечный трекер вращается вокруг установленной оси, приводимый в движение толкателем (штоком) линейного привода.

Поворотный привод посредством механической передачи вращает солнечный трекер вокруг заданной оси, при этом он может быть карусельным, когда на фундаменте установлено вращающееся кольцо, и на вертикальной опоре в виде поворотного несущего столба.

Групповой привод, как правило используется для какой-либо одной оси нескольких трекеров, другая ось которых приводится в движение индивидуальным приводом.

Определение требуемой скорости вращения привода

Привод солнечного трекера может работать в непрерывном режиме либо в прерывистом режиме. Выбор того или иного режима исходит от требуемой скорости перемещения солнечных панелей, которая напрямую зависит от скорости движения Солнца.

На рисунке 1 представлен график изменения азимута и высоты Солнца для г. Краснодара в течение дня для характерных «точек отсчета» этих углов – дней летнего (19–22 июня) и зимнего (20–23 декабря) солнцестояния. Данные углы являются углами слежения трекера.

Максимальную скорость изменения углов на рисунке 1 можно определить, проведя касательную к графику. Для азимута скорость изменения составит $40^\circ/\text{ч}$ ($0,011^\circ/\text{с}$), а для высоты $11^\circ/\text{ч}$ ($0,0031^\circ/\text{с}$).

При использовании редуктора с передаточным числом 60:1 в системе с вертикальной опорой (см. экспериментальную установку [4]) максимальная скорость вращения электродвигателя, установленного на входе редуктора составит $0,66^\circ/\text{с}$, из чего следует, что применение непрерывного режима нецелесообразно ввиду крайне низкой скорости вращения.

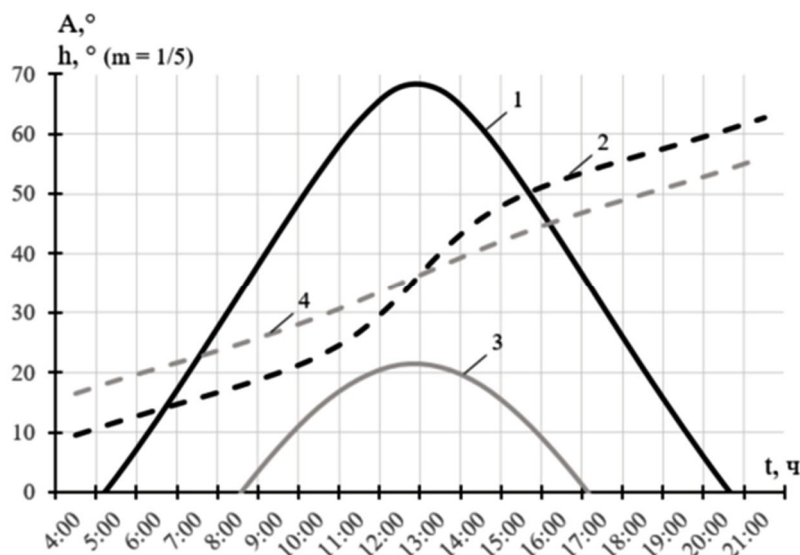


Рисунок 1 – Значения высоты (сплошная линия) и азимута Солнца (пунктир) в дни летнего (1, 2) и зимнего (3, 4) солнцестояния (азимут построен в масштабе 1 : 5)

Скорость двигателя в прерывистом режиме, когда солнечные панели поворачиваются на один шаг через определенный промежуток времени, должна определяться исходя из количества шагов и их частоты, а также механических характеристик применяемой конструкции и эффективности работы электродвигателя.

Расчет требуемого момента привода

Проведем анализ момента, необходимого для привода системы ориентирования с вертикальной осью вращения в виде столба, установленного на редукторе, и наклонной установкой солнечной панели под углом α [4].

Воздействующими на привод нагрузками являются динамический момент $M_{дин}$, момент ветровой нагрузки $M_в$, трение в редукторе $M_{тр}$.

Динамический момент определяется согласно выражению (2):

$$M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

где J – момент инерции солнечной панели с каркасом, на котором она закреплена; $d\omega/dt$ – изменение угловой скорости (ускорение).

Момент инерции солнечной панели с каркасом определим приближенно по формуле (3) для прямоугольной пластины относительно вертикальной оси (здесь m – масса, b – ширина пластины):

$$J = \frac{m \cdot b^2}{12}. \quad (3)$$

Момент ветровой нагрузки находится по равенству (4), в котором ρ – плотность воздуха, v – скорость ветра, S – проекция площади панели на плоскость, перпендикулярную направлению вектора скорости ветра, h – высота панели, c_z – коэффициент сопротивления [5, 6] (для выбора привода используется коэффициент момента по вертикальной оси z , вокруг которой вращается трекер).

$$M_g = c_z \frac{\rho v^2}{2} S \cdot h, \quad (4)$$

$$S = b \cdot h \sin(90^\circ - \alpha).$$

Сложив полученные моменты, получим необходимый минимальный момент на выходе редуктора:

$$M_2 = M_g + M_{\text{дин}}. \quad (5)$$

Потери на трение в редукторе и в подшипниках учтем, применяя к (5) КПД червячной передачи η_p . Момент на входе редуктора (момент электродвигателя) с учетом передаточного соотношения i и КПД передачи η_p будет равен:

$$M_{\text{дв}} = \frac{1}{\eta_p} \cdot \frac{M_2}{i}. \quad (6)$$

Выбор типа электродвигателя

В системе ориентирования солнечных панелей могут быть применены различные электродвигатели – постоянного тока, бесколлекторные двигатели, асинхронные или синхронные двигатели.

Поскольку вырабатываемое солнечной батареей напряжение обычно находится в диапазоне 12–20 В, применение электродвигателей с высоким напряжением питания (например, асинхронных) нецелесообразно. Наиболее часто в таких установках применяются двигатели постоянного тока (ДПТ), так как они имеют низкое напряжение питания и просты в управлении. Однако, ДПТ ввиду наличия коллектора ненадежны, и применение их снижет автономность системы ориентирования.

Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) и бесколлекторные двигатели постоянного тока (БДПТ) имеют наибольшую энергоэффективность среди указанных вариантов [7]. При этом СДПМ имеют сложный алгоритм управления и высокую стоимость.

Поэтому во вновь проектируемых установках имеет смысл применять БДПТ, которые имеют простую конструкцию, несложный способ управления и широкие возможности регулирования при использовании недорогого драйвера.

Заключение

Определенные параметры привода солнечного трекера зависят от конкретной конструкции и условий применения. В зависимости от места установки могут быть также применены специальные исполнения привода трекера (например, морозо- или влагостойкие).

Описанные выше положения помогут выбрать привод, который позволит удовлетворить требования системы ориентирования солнечных панелей и повысит эффективность всей системы.

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. Обухов С.Г., Плотников И.А. Выбор параметров и анализ эффективности применения систем слежения за Солнцем // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 10. – С. 95–106.
3. Попов С.А., Кривченков В.И., Тулиев К.А. Алгоритм слежения для трекера солнечной батареи // Научные труды КубГТУ. – 2022. – № 4. – С. 122–129.
4. Попов С.А., Кривченков В.И., Помещенко Д.Н. Экспериментальная установка трекера для солнечной батареи // Технические и технологические системы. Материалы тринадцатой Международной научной конференции. – Краснодар, 2022. – С. 211–214.
5. Сравнительный анализ ветровых нагрузок на плоскую и ступенчатую конструкции трекеров солнечных энергоустановок / Ю.С. Чумаков [и др.] // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2015. – № 3(225). – С. 124–133. DOI: 10.5862/JPM.225.13.
6. Peterka J.A., Derickson R.G. Wind load design methods for ground based heliostats and parabolic dish collectors // Report SAND92-7009, Sandia National Laboratories, Springfield. – 1992.
7. 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.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Самородов Александр Валерьевич	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрических машин alex.samorodoff@gmail.com
Мараховский Евгений Александрович	Кубанский государственный технологический университет инженер кафедры электротехники и электрических машин Zheka3334@mail.ru
Трескинская Анастасия Александровна	Кубанский государственный технологический университет магистрантка tress2001@mail.ru
Либерман Вениамин Александрович	Кубанский государственный технологический университет Студент venya.liberman@bk.ru

Аннотация. В статье представлено описание моделирования энерговыработки ветро-электростанции и подбор оборудования.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэлектростанции, моделирование энерговыработки, энергетические комплексы.

Ветроэлектростанция (ВЭС) предназначена для производства электроэнергии от ветроэнергетических установок в климатических условиях Краснодарского края и передачи ее потребителям, установленным в механическом цехе.

Целью является 100 % автономное обеспечение электроэнергией потребителей цеха используя только солнечную энергию. Выбор оборудования ветроэлектростанции (ВЭС) определяется ветроэнергетическим потенциалом местности и предполагаемым объемом производимой электроэнергии.

В качестве основной характеристики ветрового потенциала для решения вопроса о целесообразности строительства ВЭС и ориентировочного выбора ветрогенератора используется среднегодовая скорость ветра V_{cp} . Связь электрической мощности, развиваемый ветрогенератором, со скоростью ветра устанавливается соотношением:

$$P_{эл} = 0,5\pi R^2 \rho V_{cp}^3 \eta,$$

где R – Радиус ротора ветротурбины, м; ρ – Плотность воздуха (при нормальных условиях $\rho = 1,2041 \text{ кг/м}^3$); V_{cp} – Среднегодовая скорость ветра, м/с; η – КПД электромеханического преобразователя энергии фотоэлектростанция (ФЭС) предназначена для производства электроэнергии от солнечных батарей в климатических условиях Краснодарского края и передаче ее потребителям, установленным на механической цехе.

При выборе ветрогенератора следует сопоставлять стартовую скорость ветра и номинальную скорость со средней скоростью Краснодарского края. Количество произведенной энергии зависит от диаметра ветротурбины, так как в качестве ветрогенератора рассматриваем Aeolos-H 50kW со следующими характеристиками:

Номинальная мощность турбины	50 кВт
Стартовая скорость ветра	2,5 м/с
Номинальная скорость ветра	9,5 м/с
Диаметра ротора	18 м.

Среднее значение скорости ветра в Краснодаре за каждый месяц указано на рисунке 1.

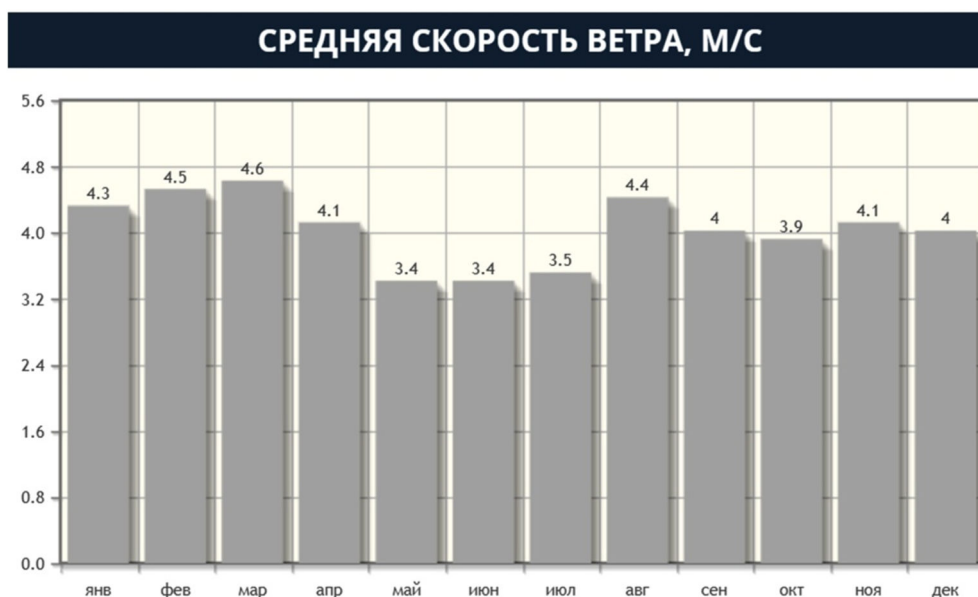


Рисунок 1 – Средняя скорость ветра в Краснодаре

По формуле, которая указана выше, рассчитаем среднесуточную выработку электроэнергии для ветровых условий г. Краснодара.

Среднесуточная выработка электроэнергии – на рисунке 2.

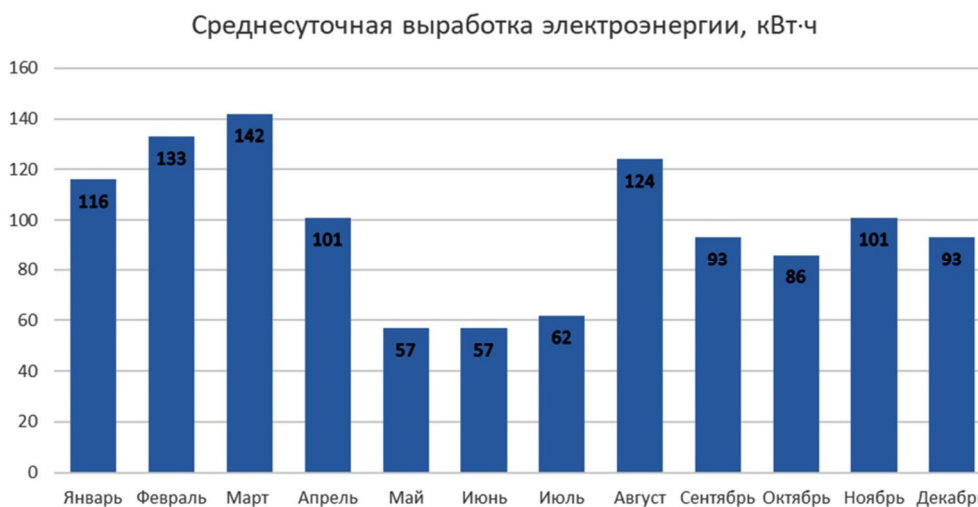


Рисунок 2 – Среднесуточная выработка электроэнергии

Очевидно, что при такой мощности ветрогенератора в наиболее ветреные месяцы недостаточно для обеспечения потребителя 1602 кВт·ч/сутки.

Увеличение установленной мощности ветровой части энергоустановки позволяет увеличить выработку электроэнергии. При использовании 11 ВЭУ среднее значение показано на рисунке 3.

В графике видно, что вырабатываемой энергии будет близко к достаточному результату только в марте.

При использовании 13 ВЭУ вырабатываемой энергии будет достаточно в феврале, марте и августе. В остальные месяцы можно получать нехватящую энергию от других источников.

Как видим из расчетов стоимость ВЭС значительно выше чем стоимость сетевой ФЭС без резервирования, кроме того в условиях Краснодара она не обеспечивает достаточное количество энергии для питания потребителей.

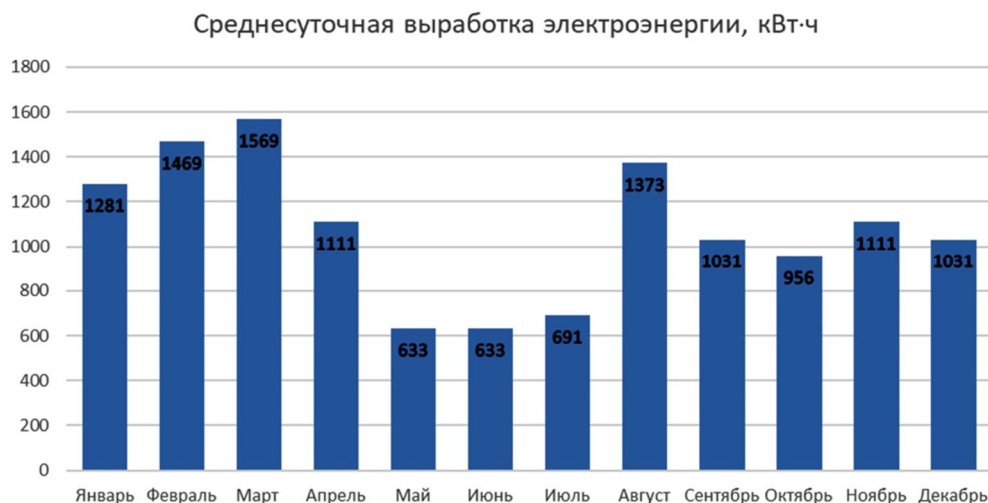


Рисунок 3 – Среднесуточная выработка электроэнергии

Таблица 1 – Стоимость основного оборудования ВЭС

	Наименование оборудования ВЭС	Технические характеристики	Кол-во	Цена, €	Сумма, €	Сумма, руб.
1	Ветрогенератор Aeolos-H 50kW	50 кВт	13	33 289	432 757	29 036 226
2	Инвертор HUAWEI SUN2000-185KW KTL-H1	185 кВт, 135 А; MPPT 550 В, 40 А	1	6 669	6 669	447 462
3	Блок мониторинга	Плата-порт-485 для связи	1	252	252	16 908
Итого:					439 678	29 500 596

В [2–5] приводится обоснование для использования в целях электроснабжения промышленных потребителей гибридных энергетических комплексов, использующих энергии ветра и Солнца. Такая схема позволяет меньше зависеть от одного источника энергии что, соответственно приводит к уменьшению потребной емкости резервирующих аккумуляторных батарей.

Список литературы:

1. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en
2. Разработка конструкций двухвходовых генераторных установок на основе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – № 2–3 (362–363). – С. 94–99.
3. Перспективные разработки для систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов [и др.] // Наука Кубани. – 2014. – № 4. – С. 39–44.
4. Ермак А.А. Перспективные источники для автономных систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / А.А. Ермак, А.В. Самородов, М.Л. Копелевич // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-1. – С. 39–41.
5. Ветросолнечная двухвходовая генераторная установка / Я.М. Кашин [и др.] // Сельский механизатор. – 2019. – № 7. – С. 32–34.

УДК 621.31

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6-10 КВ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ ВИЭ

Самородов Александр Валерьевич	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрических машин alex.samorodoff@gmail.com
Быстрицкий Александр Вадимович	Кубанский государственный технологический университет магистрант shura.bystritskiy@mail.ru
Трескинская Анастасия Александровна	Кубанский государственный технологический университет магистрантка tress2001@mail.ru
Самородова Мелисса Александровна	Кубанский государственный университет студентка melissasamorodova@icloud.com

Аннотация. В статье дан анализ технических перспектив применения светопреобразующих элементов и ветрогенераторов в распределительных сетях.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, экономия, альтернативный источник энергии, экология, гибридные системы, оптимизация, распределительная сеть.

Солнечная энергетика – это наиболее перспективная отрасль, которая частично заменяет энергию, получаемую от традиционных не возобновляемых топливных ресурсов. Актуальным промышленным, экономическим и социальным вопросом является использование альтернативных источников энергии. Приоритет отдается источникам ветроэлектростанций и светопреобразующим элементам, либо гибридным [1–2].

Объекты солнечной энергетике могут функционировать, как подключенные к общей сети, так и в распределенных, автономных сетях. Они подходят для гибридной выработки энергии, для питания собственных нужд станций и сетей, и могут включать в себя экономически эффективные системы аккумулирования энергии [3].

Основными проблемами, препятствующими гибкому внедрению в действующие системы традиционной электроэнергетики, являются:

- выбор рационального числа трансформаций;
- выбор рациональных напряжений;
- выбор рационального размещения подстанций;
- выбор рационального числа и мощности трансформаторов;
- выбор рационального сечения проводов и жил кабелей;
- выбор рациональных средств компенсации реактивной мощности и их размещений;
- анализ напряжения систем электроснабжения, имеющих приемники, ухудшающих качество электроэнергии;
- повышение показателей качества электроэнергии.

При оптимизации электрических сетей, с целью решения важных проблем их развития, повышения стабильности и улучшения качества вырабатываемой электроэнергии должны быть решены следующие вопросы: местоположение подстанции, ее назначение и роль; схема присоединения подстанции и рекомендации по главной схеме электрических соединений; необходимость установки и типы компенсирующих устройств; поэтапное развитие подстанции [4].

Определение с типом, числом и схемой питания трансформаторной подстанции, определяются значениями электрических нагрузок распределительной сети с уровнем напряжения 6–10 кВ.

Оптимизация производственных процессов в сочетании с оптимизацией систем электроснабжения обеспечит значительную экономию народнохозяйственных средств [5].

Выработка электрической энергии с использованием солнечных батарей или ветроэнергетических комплексов имеет преимущества по способу экологичности процесса генерации энергии, по способу передачи и распределению в совокупности с возможностью аккумулировать электроэнергию.

Для преобразования эффективно используются сетевые инверторы с использованием статических электронных компонентов, и для хранения эффективно используются специализированные электрохимические аккумуляторы. Они помогают преобразовывать и накапливать полученную от ВИЭ электроэнергию высокого качества [6].

В России за последние 5 лет был замечен рост производства энергии из возобновляемых источников. В 2020 году доля ВИЭ в общей производственной мощности России составляла около 8 % (рис. 1).

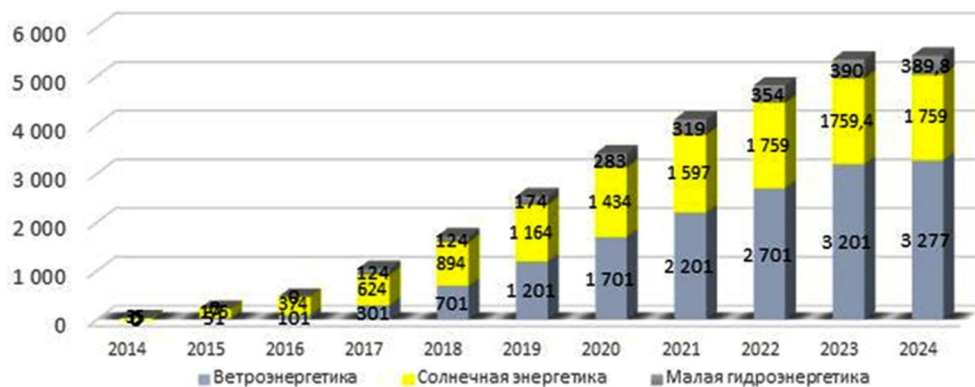


Рисунок 1 – Целевые показатели величин роста производства энергии из возобновляемых источников по видам ВИЭ.

На территории Краснодарского края также можно наблюдать положительную динамику внедрения ВИЭ. Например, в 2019 году на территории края была введена в эксплуатацию ветроэлектростанция мощностью 150 МВт, что привело к увеличению доли ВИЭ в общей производственной мощности региона [7].

Также на территории Краснодарского края активно развивается солнечная энергетика. В 2020 году на крае было запущено несколько крупных солнечных электростанций, мощность которых составляет до 30 МВт (рис. 2).



Рисунок 2 – Объем производства электроэнергии из возобновляемых источников по отношению к традиционным на территории Краснодарского Края

Солнечных дней в году в Краснодарском крае достаточно много благодаря его южному расположению.

Вот некоторые данные:

- Краснодар: около 285–290 солнечных дней в году;
- Геленджик: около 300–315 солнечных дней в году;
- Сочи: около 200–220 солнечных дней в году (из-за большого количества облачной погоды, вызванной близостью Кавказских гор) (рис. 3) [8].

Кроме того, на территории Краснодарского края успешно работают малые гидроэлектростанции и биогазовые установки.

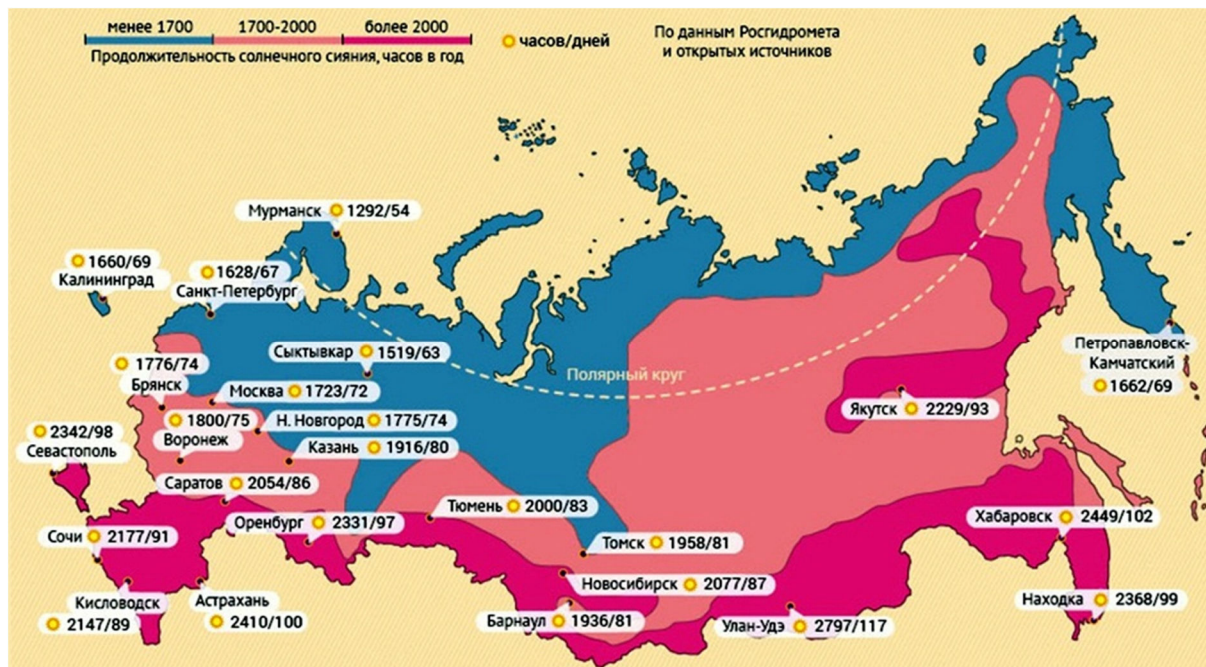


Рисунок 3 – Среднегодовое количество солнечных часов и дней в городах России

Возможность применения ВИЭ обеспечит высокий уровень автономности по эксплуатационной части, необходимый для географически отдаленных объектов производства, и наряду с этим высокий уровень экологичности и, тем самым, выступает принципиальным шагом на пути защиты окружающей среды. Даже если они и присутствуют в незначительной мере, то по сравнению с традиционными источниками энергии – это минимальное воздействие на окружающую среду [9].

Наиболее важными факторами при создании солнечной энергетической системы являются экономические показатели, получаемые расчетом количества ожидаемых затрат на строительство и эксплуатацию системы и количества произведенной солнечной энергии за весь период ее работы. Коммерчески обоснованные энергетические системы от нескольких киловатт до сотен мегаватт достаточно жизнеспособны [10].

Заключение. В систематичном развитии технологий ВИЭ и ввиду научного интереса основание для внедрения в распределительные сети, на мой взгляд, остается вопросом времени, т.к. это повлечет за собой экономический, социальный, технологический прогресс и вместе с этим рост интереса к научным возможностям новых гибридных систем. Важными аспектами в данном вопросе остаются внимание, интерес и вовлеченность государства и бизнес структур, т.к. экономическая поддержка данных сторон ещё более расширит возможности для полноценного внедрения в промышленность и эксплуатацию.

Список литературы:

1. Blade Manufacturing Improvements Development of the ERS-100 Blade. Final Project Report – prepared by TPI Composites, Inc., prepared for Sandia National Laboratories Contract – AX-2111A. – 373 Market Street Warren, RI 02885 – 2001.
2. International Standard. Power performance measurements of electricity producing wind turbines : IEC 61400-12-1. – [First edition 2005-12]. – International Electrotechnical Commission, 2005.

3. Преимущества и недостатки солнечной энергии [Электронный ресурс]. – URL : <http://solarelectro.ru/>
4. Перспективные разработки для систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов [и др.] // Наука Кубани. – 2014. – № 4. – С. 39–44.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. – М. : Энергоатомиздат, 1995.
6. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – М. : Энергоатомиздат, 1986.
7. Хазова В.Н. Особенности развития энергии возобновляемых источников на российском энергетическом рынке // Теоретическая и прикладная экономика. – 2019. – № 2.
8. Еженедельник «Аргументы и Факты» № 47 [Электронный ресурс]. – URL : <https://aif.ru/>
9. Бекиров Э.А. Автономные источники электропитания на базе солнечных батарей. – Симферополь : ИТ «Ариал», 2011.
10. Ермак А.А. Перспективные источники для автономных систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / А.А. Ермак, А.В. Самородов, М.Л. Копелевич // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-1. – С. 39–41.

ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ГОРОДАХ С НАСЕЛЕНИЕМ БОЛЕЕ МИЛЛИОНА ЧЕЛОВЕК

**Усков
Антон Евгеньевич**

Кубанский государственный аграрный университет
доцент кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ
кандидат технических наук, доцент
uskov.a@edu.kubsau.ru

Аннотация. Показано, что перспективным является направления применения разных видов возобновляемых источников энергии в условиях больших городов.

Ключевые слова: ветро-солнечные электростанции, энергетика, энергоэффективность.

Сегодня актуальным является внедрение систем возобновляемой энергетики в городскую среду больших городов. Одним из наиболее доступных источников возобновляемой энергии является солнечная энергия. Города с большим населением обычно имеют обширные площади крыш зданий и открытых пространств, которые можно использовать для установки солнечных панелей [1].

Установка солнечных панелей на крышах зданий. Солнечные панели могут быть установлены на крышах жилых, коммерческих и промышленных зданий. Это позволяет использовать пространство, которое в противном случае было бы неиспользуемым, для генерации электроэнергии. Крыши многоэтажных зданий, торговых центров и складских помещений представляют значительный потенциал для установки.

Использование солнечных ферм на открытых площадках. Города также могут использовать свободные отстроек земельные участки для создания солнечных ферм. Открытые площадки около городских аэропортов, промышленных зон или неиспользуемых земель могут быть использованы для установки солнечных ферм.

Еще одним перспективным источником возобновляемой энергии является ветровая энергия. В городах с населением более 1 миллиона человек можно использовать высотные сооружения и окраины города для установки ветрогенераторов.

Размещение ветрогенераторов на высотных сооружениях. Многие современные города имеют высотные здания с этажностью более 15. Это предоставляет возможность установки ветрогенераторов на их вершинах или боковых поверхностях.

Использование ветровых ферм на окраинах города. Некоторые окраины города представляют благоприятные условия для установки ветровых ферм. Они могут располагаться на открытых пространствах, включая пастбища, неиспользуемые земли или близлежащие природные заповедники.

Города также могут использовать геотермальную энергию, основанную на извлечении тепла из земли, для обеспечения энергетических потребностей.

Использование геотермальных источников для отопления и охлаждения зданий. Геотермальные системы могут быть установлены в зданиях для использования тепла, хранящегося в глубоких слоях земли. Это позволяет эффективно отапливать и охлаждать здания с минимальными затратами на энергию. Города могут разработать инфраструктуру, использующую геотермальные ресурсы для обеспечения комфортных условий в зданиях.

Геотермальной энергии для производства электроэнергии. Применение геотермальная энергия также может быть использована для производства электроэнергии. Города с населением более 1 миллиона человек могут разрабатывать геотермальные электростанции, использующие тепло из глубоких геотермальных источников для приведения в действие турбин, генерирующих электричество.

Для оценки потенциала солнечной энергии в городе с населением более 1 миллиона человек, рассмотрим следующие данные и расчеты [2].

1. *Установка солнечных панелей на крышах зданий.* Расчет основан на средней площади крыши здания, эффективности солнечных панелей и средней солнечной радиации в регионе. Предположим, что в городе имеется 1 000 зданий с возможностью установки солнечных панелей, и средняя площадь крыши каждого здания составляет 1000 квадратных метров. Эффективность солнечных панелей составляет 15 % и средняя солнечная радиация в регионе составляет 1 500 кВт·ч/кв.м/год, то общая энергетическая выработка от солнечных панелей составит:

$$\text{Общая площадь крыш} = 1\,000 \text{ зданий} \cdot 1\,000 \text{ м}^2 = 1\,000\,000 \text{ м}^2.$$

Общая энергетическая выработка равна общей площади крыш умноженная КПД панелей умноженная на объём солнечной энергии итого получим 225 000 000 кВт·ч/год

2. *Использование солнечных ферм на открытых площадках.* В городских условиях очень высокая площадь застройки и как правило свободные участки находятся около промышленных объектов. Предположим, что имеется земельный участок общей площадью 10 квадратных километров. Если эффективность солнечных панелей составляет 15 % и средняя солнечная радиация в регионе также составляет 1 500 кВт·ч/м²/год, то общая энергетическая выработка от солнечных ферм составит 2 250 000 000 кВт·ч/год

Для оценки потенциала ветровой энергии в городе с населением более 1 миллиона человек, рассмотрим следующие данные и расчеты:

Размещение ветрогенераторов на высотных сооружениях. Предположим, что в городе имеется 10 высотных сооружений, на которых можно установить ветрогенераторы. Средняя мощность ветрогенератора составляет 2 МВт, и средняя эффективность работы ветрогенератора составляет 30 %. Тогда общая энергетическая выработка от ветрогенераторов на высотных сооружениях будет 6 МВт. Но необходимо учитывать что ветроэнергетические установки создают повышенный шумовой фон, а так же увеличенную механическую нагрузку на конструкции зданий и сооружений [3].

Геотермальная энергия представляет собой еще один значительный потенциал возобновляемых источников энергии. Рассмотрим следующие данные и расчеты:

Использование геотермальных источников для отопления и охлаждения зданий. Геотермальные системы могут быть установлены в зданиях для использования тепла, хранящегося в глубоких слоях земли. Предположим, что в городе есть 500 зданий, которые могут быть подключены к геотермальным системам для отопления и охлаждения. Если каждое здание потребляет в среднем 200 МВт·ч энергии в год, то общий потенциал сэкономленной энергии будет составлять 100 000 МВт·ч.

Извлечение геотермальные мощности для производства электроэнергии возможно далеко не во всех регионах нашей страны. Суммируя все возможности возобновляемых источников энергии в городе, мы получаем:

- солнечная энергия: 2 250 000 000 кВт·ч в год;
- ветровая энергия: 105 000 000 МВт;
- геотермальная энергия: 100 000 МВт·ч (экономленная энергия от отопления и охлаждения зданий).

Возобновляемая энергетика это огромный потенциал для обеспечения города с населением более 1 миллиона человек энергией, которая является экологически чистой и устойчивой. Помимо экономии ресурсов, использование возобновляемых источников энергии также поможет сократить выбросы парниковых газов, снизить зависимость от традиционных источников энергии и способствовать экологической устойчивости города.

Таким образом, применение возобновляемых источников энергии в больших городах имеет, прежде всего, экономическую выгоду и улучшается экологическая обстановка. Повысить энергоэффективность возобновляемых источников энергии можно за счёт применения в их структуре новой элементной базы – функциональных элементов, имеющих улучшенные эксплуатационно-технические характеристики [4].

Список литературы:

1. Григораш О.В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края / О.В. Григораш, А.А. Хамула, А.В. Квитко // Политематический сетевой электрон-

ный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 92. – С. 630–641.

2. Классификация и оценка эффективности систем бесперебойного электро-снабжения / А.В. Винников [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 107. – С. 1166–1179.

3. Алмазов В.В. Обоснование выбора параметров электроэнергии автономных систем электроснабжения / В.В. Алмазов, А.Е. Усков, А.О. Григораш // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2010. – № 26. – С. 121–123.

4. Новая элементная база возобновляемых источников энергии: монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар, 2018. – С. 202.

ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

**Харченко
Дмитрий Павлович**

Кубанский государственный аграрный университет
доцент кафедры электрических машин и электропривода,
кандидат технических наук, доцент
dmitryph85@mail.ru

**Азарян
Александр Ашотович**

Кубанский государственный аграрный университет
ассистент кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ
sashiko.az@yandex.ru

**Таразанов
Валерий Иванович**

Кубанский государственный аграрный университет
магистр
tarazanov.valera13@gmail.com

Аннотация. Для повышения рентабельности малых фермерских хозяйств предлагаются в качестве источников электроэнергии применять ветро-солнечные электростанции.

Ключевые слова: ветро-солнечные электростанции, малые фермерские хозяйства, автономные источники электроэнергии.

Сельскохозяйственное производство организуемое в малых фермерских хозяйствах (МФХ) имеет важную особенность: оно является не круглогодичным, а сезонным. Кроме того, важным фактором, оказывающим влияние на открытие МФХ, является наличие вблизи земельного участка внешней энергетической системы (линии электропередачи и трансформаторные подстанции), поскольку рентабельность хозяйств в основном определяется энергоресурсами.

Сегодня электроснабжение автономных потребителей электроэнергии МФХ осуществляется традиционными автономными источниками электроэнергии (АИЭ), для хозяйств, не превышающих потребление в сутки 25–30 кВт·ч энергии – это, как правило, бензогенераторы, а при большем потреблении энергии – дизельные электрические станции (ДЭС). Эти традиционные АИЭ имеют небольшой ресурс работы, относительно большие эксплуатационные затраты и оказывают отрицательное воздействие на экологию, что в комплексе приводит к понижению рентабельности МФХ [1, 2].

В настоящее время решить вопрос повышения энергоэффективности АИЭ МФХ можно за счёт применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ), прежде всего стационарных и мобильных ветро-солнечных электростанций (ВСЭ) [3, 4].

Практически ежегодно улучшаются эксплуатационно-технические и технико-экономические показатели ВСЭ, прежде всего основных их функциональных элементов преобразователей энергии, стабилизаторов напряжения и устройств, обеспечивающих синхронизацию их работы. Уменьшаются капитальные затраты на производство комплектующих ВИЭ, а также эксплуатационные затраты.

Краснодарский край имеет высокий теоретический (валовый) потенциал ВИЭ. Средняя годовая скорость ветра превышает 4 м/с, а среднемесячное прямое излучение солнечной энергии превышает 1,0 кВт/м² на большей части территории края.

Первым важным этапом проектирования ВСЭ является определение потенциала ветровой и солнечной на территории, где предполагается применение станции.

На втором этапе проектирования ВСЭ необходимо определить суммарную мощность источников электроэнергии, включая резервных источников. Для этого проводится анализ мощности потребителей электроэнергии МФХ, занимающихся разными видами деятельности.

Следующим этапом является проектирование структурно-схемного решения ВСЭ, которое начинается с выбора основных функциональных элементов ВСЭ (генератора, инвертора, контроллера, солнечных и аккумуляторных батарей, коммутационных аппаратов и т.п.). Такой выбор определяется эксплуатационно-техническими характеристиками функциональных элементов и зависит, прежде всего, от требований потребителей к качеству электроэнергии и надёжности электроснабжения.

Для повышения энергоэффективности ВСЭ необходимо оптимизировать (разнести) работу потребителей по времени, таким образом, чтобы одновременно были подключены к источникам электроэнергии как можно меньше потребителей.

Повысить энергоэффективность автономных систем электроснабжения можно также за счёт применения энергосберегающих ламп и потребителей электроэнергии постоянного тока [2, 5].

Структурно-схемные решения ВСЭ и статических преобразователей электроэнергии с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками, применяемых в их составе широко, представлены в [4]. Солнечные инверторы напряжения, выполняются на базе звена повышенной частоты тока, что позволяет значительно улучшить их массогабаритные показатели. В их структуре могут также применяться однофазно-трёхфазные трансформаторы с вращающимся магнитным полем, что дополнительно приведёт повышению надёжности работы преобразователя за счёт уменьшения количества силовых электронных приборов.

В последнее время значительно улучшить эксплуатационно-технические характеристики электромашинных преобразователей электроэнергии. Кроме того, в составе МФХ находят широкое применение трёхфазные потребители электроэнергии (дробилки, погружные насосы, электропривод вентиляторов т.п.). Для электроснабжения трёхфазных и однофазных потребителей электроэнергии МФХ предлагается структурная схема ВСЭ, выполненной на базе электромашинного преобразователя электроэнергии, приведённая на рисунке 1.

На рисунке 1 не показан контроллер, осуществляющий функцию системы управления и защиты, а также подключение источников электроэнергии двигателю постоянного тока ДПТ на одном валу с которым находится трёхфазный синхронный генератор СГ, возбуждаемый от постоянных магнитов. К шине гарантированного питания ШГП подключаются однофазные и трёхфазные потребители электроэнергии. Потребители постоянного тока подключаются через трёхфазный выпрямитель, который на рисунке 2 не показан.

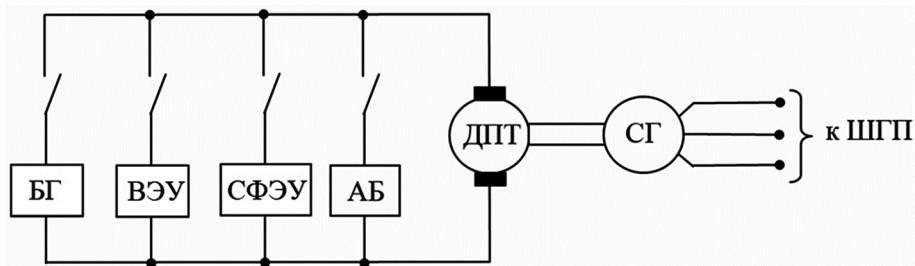


Рисунок 1 – Структурная схема ВСЭ на электромашинном преобразователе

Таким образом, актуальным сегодня является направление применения ВСЭ для электроснабжения автономных потребителей электроэнергии МФХ, поскольку значительно уменьшилась стоимость их основных функциональных элементов и повысилась надёжность работы [4]. Поскольку ВСЭ имеют лучшие эксплуатационно-технические показатели в сравнении с традиционными АИЭ, то повышение рентабельности МФХ при использовании ВИЭ для электроснабжения потребителей электроэнергии очевидна.

Список литературы:

1. Амерханов Р.А., Кириченко А.С., Касьянов Р.С. Возможности использования возобновляемых источников энергии Краснодарского края // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 13–14. – С. 12–25.

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. Юдаев И.В., Даус Ю.В. Солнечная электроэнергетика Юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития // В сборнике: Альтернативная энергетика в регионах России «АЭР-2018». – 2018. – С. 45–49.
4. Новая элементная база возобновляемых источников электроэнергии : монография / О.В. Григораш [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 202 с.
5. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Лысаков А.А. Ветро-солнечная система автономного электроснабжения // Сельский механизатор. – 2018. – № 4. – С. 28–29.

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

УДК 66.074.332, 504.064.43

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Ясьян Юрий Павлович	Кубанский государственный технологический университет доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии нефти и газа yasiyan@yandex.ru
Нисковская Марина Юрьевна	Кубанский государственный технологический университет кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии нефти и газа nismar@mail.ru
Колмогорова Вероника Александровна	АО «ТомскНИПинефть» кандидат технических наук, начальник отдела интегрированного проектирования kolmogorovava@tomsknipi.ru

Аннотация. Объектом исследования являются действующие и разрабатываемые технологии декарбонизации дымовых газов газотурбинных электростанций преимущественно методом хемосорбции с использованием абсорбентов на основе аминов. Проведен аналитический обзор перспективных направлений совершенствования технологии аминовой очистки с целью извлечения углекислого газа из дымовых газов. В частности, выявлены и систематизированы ключевые направления совершенствования составов абсорбентов на основе аминов с целью снижения энергозатрат на их регенерацию.

Ключевые слова: дымовые газы, газотурбинная электростанция, декарбонизация, углекислый газ, хемосорбция, абсорбенты, амины, энергоэффективность.

В целях реализации международных климатических соглашений на наднациональном и национальном уровнях используются различные меры политики. Политика низкоуглеродного развития представляет важнейшую часть стратегических планов всех нефтегазовых компаний в современных условиях. Сокращение углеродного следа и «озеленение» собственной продукции является неотъемлемым условием для успешной конкуренции в мировом энергетическом секторе в условиях энергоперехода, а имеющиеся компетенции в области геологии и транспортировки углеводородов обеспечивают значительные конкурентные преимущества нефтегазовых компаний.

На всех этапах технологической цепочки обращения с углеводородами (upstream-midstream-downstream) в результате деятельности вертикально-интегрированных нефтяных компаний (ВИНК) происходит выброс парниковых газов. При этом основной объем эмиссии приходится на добычу (upstream), и в большей мере он связан с собственной генерацией электроэнергии за счет сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ). Работа промышленных газотурбинных электростанций (ГТЭС) позволяет эффективно монетизировать извлекаемый ПНГ в отличие от его непродуктивного сжигания с целью утилизации. Однако необходимо понимать, что достижение целевого показателя 95 % полезного использования ПНГ неизбежно связано с увеличением выбросов углекислого газа (CO₂) в атмосферу и требует внедрения эффективных технологий улавливания, утилизации и захоронения CO₂ (CCUS).

ПАО «НК «Роснефть» планирует к 2035 году предотвратить выбросы парниковых газов в объеме 20 млн т в CO₂-эквиваленте. Компания отмечает высокий потенциал использования подземных хранилищ и собственных выработанных месторождений для проектов улавливания и хранения CO₂ [1].

Экономическая эффективность реализации CCUS-проектов напрямую зависит от уровня цен и налога на CO₂, а также от прогресса в развитии технологий с целью сокращения затрат и их удешевления. При этом извлечение (улавливание) углекислого газа является ключевой стадией CCUS-технологий, определяющей технико-экономические пока-

затели таких проектов в целом, а, следовательно, представляет существенный научный и практический интерес.

Для извлечения CO_2 из газовых потоков могут быть использованы следующие методы: абсорбция (физическая или хемосорбция), адсорбция, мембранный способ, криогеника (низкотемпературная сепарация), а также технологии с использованием микроводорослей. При этом каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения в применении [2].

Так как для дымовых газов характерно низкое парциальное давление CO_2 (давление дымового газа, поступающего в окружающую среду, близко к атмосферному, и содержание CO_2 в среднем составляет 3-15 % об., для дымовых газов ГТЭС – 2–4 % об.), то движущая сила для многих из указанных методов оказывается недостаточной. Чтобы извлекать CO_2 из дымового газа с удовлетворительным коэффициентом извлечения и достаточно высокой чистотой для обеспечения работоспособности таких методов как низкотемпературное извлечение, короткоцикловая адсорбция (PSA), мембранное разделение и физическая абсорбция, требуется энергоемкое сжатие дымового газа, которое неизбежно сопровождается дополнительным сжиганием углеводородного топлива и, соответственно, новыми выбросами CO_2 в атмосферу. Процесс химической абсорбции может протекать при атмосферных давлении и температуре, что, наряду с применением абсорбентов с высокой поглощающей способностью, предопределяет его эффективность при извлечении CO_2 из газовых потоков с его содержанием от 3 до 15 % об. [3]. При этом химическая абсорбция с использованием растворителей на основе аминов является на данный момент наиболее технологически и коммерчески зрелым методом улавливания CO_2 .

Применительно к дымовым газам ГТЭС на нефтяных месторождениях, работающих на попутном нефтяном газе, можно выделить следующий ряд особенностей (таблица 1), оказывающих существенное влияние на разработку технических решений по улавливанию из них углекислого газа преимущественно методом хемосорбции.

Таблица 1 – Характеристика дымовых газов ГТЭС

Показатель, технический параметр	Значение
Усредненный компонентный состав газа, % об.:	
CO_2	3,57
O_2	14,49
N_2	72,87
H_2O	9,06
CO	0,002
NO_x	0,012
Парциальное давление CO_2 , атм./ % об. при атмосферном давлении:	
– в сырьевом потоке	0,035/3,5
– в очищенном потоке	0,00175/0,175
Температура дымовых газов, °С	580-585
Давление дымовых газов (абс.), кПа	103,8
Расход дымовых газов, млрд м ³ /год	75

Видно, что большие объемы низконапорных горячих газов, характеризующиеся низким парциальным давлением углекислого газа и высоким содержанием кислорода, диктуют свои условия относительно повышения абсорбционной ёмкости, химической и термической стабильности абсорбентов, а также рационального использования тепловой энергии дымовых газов в целях повышения эффективности процесса их декарбонизации. Кроме того, приоритетной особенностью совершенствования процесса абсорбционного улавливания CO_2 является снижение энергетических затрат на регенерацию абсорбента.

Регенерация абсорбента технологически представляет собой энергоемкий процесс и состоит в десорбции хемосорбированного CO_2 из поглотителя путем отгонки водяным паром в колонне-десорбере.

Энергия на стадии регенерации потребляется при:

- 1) обращении экзотермической реакции поглощения, включая теплоту конденсации CO_2 из газовой фазы в раствор, в жидкой фазе;
- 2) генерации технологического пара для отвода из верхней части регенерационной колонны CO_2 , выделяющегося из жидкой фазы, в газовую фазу;
- 3) обеспечении скрытой теплоты для нагрева поглотителя, обогащенного CO_2 , до температуры регенерации;

4) компенсации потерь тепла из регенерационной колонны и связанного с ней оборудования.

Первые два пункта соответствуют большей части общего потребления тепла, и оба они связаны с теплотой реакции между поглотителем и CO_2 . При этом действует следующая закономерность – энергия, требуемая для десорбции CO_2 , равна теплоте реакции на стадии поглощения. Практический интерес представляет обеспечение взаимного сочетания энергетических характеристик процессов абсорбции-десорбции. Усилиями ведущих зарубежных компаний – разработчиков технологий аминной очистки дымовых газов (Mitsubishi Heavy Industries, Shell, Fluor Daniel и др.) достигнут значительный прогресс в улучшении технико-экономических показателей процесса за счет снижения расходов теплоты на регенерацию растворов абсорбентов различного состава с 9–11 ГДж/т CO_2 до 2,6–4,0 ГДж/т CO_2 .

Проведенный аналитический обзор современной научно-технической литературы и информационных источников, включая патентный поиск, позволил выявить ряд ключевых направлений совершенствования химических составов абсорбентов на основе аминов, позволяющих снизить расход энергии на стадии их регенерации (наряду с улучшением таких характеристик абсорбентов, как устойчивость к окислительной деградации, снижение летучести и коррозионной активности, повышение поглотительной способности в отношении CO_2):

- использование синергетических смесей аминов (амины «второго поколения»), например, [4];
- модификация аминов соединениями различной природы (биокатализаторы, физические растворители, ионные жидкости, соли аминокислот и др.), например, [5];
- применение обедненных водой/неводных абсорбентов или абсорбентов с фазовым переходом, например, [6].

Кроме того, перспективными в отношении повышения энергоэффективности процесса декарбонизации дымовых газов являются гибридные технологии, позволяющие объединить преимущества процесса массообмена при ограничении недостатков отдельных разработанных способов извлечения CO_2 , например, [7].

Результаты проведенной научно-исследовательской работы могут быть использованы при разработке отечественных и корпоративных CCUS-проектов и, в частности, для решения исследовательских задач по подбору (созданию) эффективных абсорбентов методом математического моделирования и (или) лабораторным путем, а также по прогнозированию свойств (состава) абсорбентов (молекулярный дизайн).

Работы проведены при финансовой поддержке ПАО «НК «Роснефть».

Список литературы:

1. Технологии улавливания, полезного использования и хранения двуокиси углерода (CCUS) / А. Осипцов [и др.]. – Skoltech: Проектный центр по энергопереходу и ESG, 2022. – 79 с.
2. Assessing absorption-based CO₂ capture: Research progress and techno-economic assessment overview / U. Khan [et al.] // Carbon Capture Science & Technology. – 2023. – Vol. 8. – P. 100125. DOI:10.1016/j.ccst.2023.100125.
3. Лавренченко Г.К., Копытин А.В. Новые технологии извлечения CO_2 из дымовых газов тепловых станций // Технические газы. – 2011. – № 2. – С. 32–42.
4. EA 008851 B1. Method for recovery of CO₂ from gas streams. Publication of: 31.08.2007.
5. Borhani T., Wang M. Role of solvents in CO₂ capture processes: the review of selection and design methods // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2019. – Vol. 114. DOI:10.1016/J.RSER.2019.109299
6. Li H., Guo H., Shen S. Low-Energy-Consumption CO₂ capture by liquid-solid phase change absorption using water-lean blends of amino acid salts and 2-alkoxyethanols // ACS Sustain. Chem. Eng. – 2020. – Vol. 8. – № 34. – P. 12956–12967. DOI:10.1021/acssuschemeng.0c03525/asset/images/large/sc0c03525_0008.jpeg
7. RU 2534075 C1. Способ отделения диоксида углерода из отработанного газа с использованием стадий мембранного разделения на основе продувки и абсорбции. Дата публикации: 27.11.2014.

НАУКИ О ЗЕМЉЕ

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИН

**Абдуллаев
Малик Гурбан оглы**

Азербайджанский Государственный университет нефти и промышленности
доктор философии по технике,
доцент кафедры «Нефтегазовая инженерия»
malik.abdullayev.52@mail.ru

**Мансурова
Самира Ильяс гызы**

Азербайджанский Государственный университет нефти и промышленности
доктор философии по технике,
доцент кафедры «Нефтегазовая инженерия»
mansur_s74@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с методами воздействия на призабойную зону скважин и оценкой эффективности. Анализы большого объема промыслового материала показали, что основными видами эффективных обработок нефтяных месторождений на поздней стадии эксплуатации являются: закачка растворителей, применение кислотосодержащих микроэмульсий и кислотная обработка, применение пенных систем. В работе предложен способ выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность проведения геолого-технических мероприятий. Такой подход, с одной стороны, позволяет правильно выбрать скважины для проведения воздействия, с другой – оценить эффективность проводимых мероприятий с целью выявления возможности дальнейшего их применения.

Ключевые слова: месторождение, добыча, призабойная зона, растворители, пенные системы.

Проблема повышения эффективности разработки связана с открытием новых залежей, а также стабилизацией добычи нефти и газа на длительное время разрабатываемых месторождениях.

Стабилизация добычи нефти на длительное время разрабатываемых месторождениях может быть достигнута внедрением в производство более прогрессивных методов, позволяющих увеличить добычу нефти. Прогрессивными методами являются различные методы обработки призабойной зоны скважин. Рациональное их использование позволяет заметно увеличить коэффициент нефтеизвлечения.

Широкое применение в последние годы получил метод обработки призабойной зоны скважин неньютоновскими системами.

Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность обработки. Эти факторы позволяют правильно выбрать скважину для воздействия и оценить эффективность проводимой обработки, выявить мощность дальнейшего применения подобных обработок.

Как известно, один из основных методов увеличения коэффициента нефти отдачи (КНО) пласта на изучаемых месторождениях является обработка призабойной зоны скважин различными реагентами [1, 2].

Эффективность применяемых обработок предопределяется множеством разнообразных факторов, связанных как естественными условиями, так и технологией процесса, правильным выбором скважин для проведения тех или иных мероприятий, освоением скважин после обработки и т.д. необходимо отметить, что учет влияния всех факторов при одновременном воздействии их различных сочетаний на эффективность методов обработки представляет значительные трудности.

В связи с этим, на современном этапе изученности вопроса, является целесообразным выявлением и изучением характера влияния основных факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на эффективность методов обработки.

Анализ результатов применяемых методов обработки призабойной зоны скважин показал, что основными видами обработки призабойной зоны, целью вытеснения остаточной нефти, являются: закачка пены, обработка забоя скважин кислотосодержащими микроэмульсиями, обработка забоя скважин растворителями (нефть, керосин, конденсат и др.), прогрев забоя горячей нефтью, применение растворов полимерами и др. [4, 5, 6].

Следует отметить, что эффективность этих методов, в основном, определяется приростом добычи нефти, который в среднем составляет: при закачке растворителей до 2,0 т/сут, при закачке пены до 1,5 т/сут., при закачке растворов полимеров приблизительно до 1,0 т/сут.

Межремонтный период скважин также увеличивается, что свидетельствует о перспективности применяемых методов на рассматриваемых площадях.

Эффективность воздействия на призабойную зону скважин в основном зависит от правильного подбора скважин, качественной подготовки скважин, технологии проводимого процесса.

Однако, в большинстве случаев об эффективности проводимых мероприятий по обработке призабойной зоны скважин судят только по дебиту скважин, не обращая внимания на дебит других соседних скважин. Кроме того, выбор скважин также происходит по дебиту (нефти), что во многих случаях приводит к неэффективности процесса.

Поэтому ниже предлагается методика по оценке эффективности проводимых мероприятий, с целью выявления основных факторов, влияющих на процесс обработки призабойной зоны скважин, что позволяет улучшить выбор скважин для обработки.

Для оценки эффективности проводимых мероприятий были собраны геолого-эксплуатационные характеристики скважин, которые представлены в таблицах 2, 3.

В первой таблице приведены данные по скважинам месторождения «I», где произведена обработка призабойной зоны скважин пенами.

В таблице 3 приведена геолого-промысловые данные по скважинам, где произведена обработка призабойной зоны растворителями на месторождении «II».

Влияние факторов, влияющих на эффективность методов, при статической обработке данных оценивалось путем их корреляционного анализа [1]. Было принято, что, в общем случае, на эффективность обработки призабойной зоны могут оказать влияние следующие факторы:

Глубина залегания пласта (H), мощность перфорированного участка ($h_{пер}$), вязкость нефти (η_n), удельный вес нефти (γ_n), процент смол в продукции, объем нагнетаемого растворителя (V_p), удельный вес растворителя (γ_p), давление нагнетания реагентов ($P_{нар}$), время освоения скважин после проведения обработки ($t_{осв}$), процент воды в продукции (b), режим работы скважин после обработки, длина хода плунжера насоса (S), число качаний (n), диаметр насоса (d), удельный вес рабочего агента и др. данные характеризующие условия эксплуатации.

Были вычислены величины парных корреляций между отношением дебитов до и после обработки и указанными выше факторами [8, 9, 10].

Оценка величины парной корреляции осуществлялась по формуле:

$$R_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где x_i – значения одного из факторов, \bar{x} – среднее значение фактора.

Данные изменения этих факторов и найденные значимые значения коэффициентов парной корреляции приводятся в табл.1-3

Значимость влияния отдельных факторов оценивалась по величине парной корреляции между отношением дебитов и данным фактором. Влияние факторов принималось существенным, если значение абсолютной величины парной корреляции оказывалось больше предельного значения, соответствующего 95 % уровня значимости. Согласно результатам анализа, основными факторами, оказывающими суще-

ственное влияние на отношение дебитов при обработке забоя растворителями, являются:

- по I месторождению (II гор.) – процент смолы в продукции, удельный вес растворителя и время освоения скважин после обработки.
- по месторождению II – удельный вес нефти, удельный вес растворителя, давления нагнетания.

Таблица 1 – Геолого-промысловые данные по скважинам месторождения «I»

№ скв.	Интервал перворации, (H _{пер})	Глубина (H), м	Вязкость нефти (η _н), СП ³	% смол	Удельный вес растворителя, (γ _р), г/см ³	Удельный вес нефти (γ _н), г/см ³	Давление нагнетания реагентов (P _{нар}) МПа	Время освоения скважин после проведения обработки, (t _{осв})	% воды	$\frac{Q_{ож}}{Q_{ж}} = \alpha$	Удельный вес рабочего агента, (R _{ож}), м ³ /т	Объем нагнетаемого растворителя (V _р), м ³
833	35	2320	46,7	26,9	1,13	0,795	5,5	2	50	1,06	235	30,75
1086	15	2390	47,7	26,8	1,14	0,788	6,5	3	55	1,03	375	36,9
806	17	2400	48,1	26,6	1,14	0,798	6,0	2	57	0,89	250	36
234	28	2370	47,4	26,8	1,13	0,797	5,5	6	62	1,1	350	35
1192	22	2290	47,5	26,7	1,12	0,796	5,0	4	67	0,9	275	30
773	34	2300	47,6	26,3	1,12	0,795	4,5	2	55	1,01	325	30
1211	8	2311	47,6	26,7	1,12	0,796	5,0	2	67	0,91	250	32
1089	8	2251	47,6	26,9	1,12	0,795	5,0	2	55	1,03	415	28,9
1015	17	2386	47,5	26,7	1,13	0,796	5,5	2	67	1,0	450	34,8
857	15	2411	47,7	26,8	1,14	0,798	6,0	2	55	1,06	250	38,75

Были исследовано также влияние на производительность скважин сочетания всех факторов, взятых в различных комбинациях. Оценка совместного влияния группы факторов осуществлялась вычислением величины корреляционного отношения (КО) [11, 12].

Выбиралась та комбинация факторов, которая имеет наибольшую величину корреляционного отношения. Затем, добавлением одних и исключением из рассматриваемой группы других факторов, устанавливалось изменение величины корреляционного отношения [13, 16].

Если эта процедура приводила к заметному его повышению, то данное изменение принимались, как положительное. Таким образом, выбирались, из всех возможных, комбинация с наибольшим значением величины корреляционного отношения.

В результате получена корреляционная матрица факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на исследуемый параметр [14, 15, 17].

Величина корреляционного отношения при указанном сочетании факторов составляет.

- для месторождения I (II горизонт) – 0,78
- и для месторождения II – 0,83.

Исключение любого из них приводит к существенному уменьшению значения КО.

Выводы

На эффективность обработок призабойной зоны скважин растворителями существенное влияние оказывают такие факторы, как процент смолы в продукции, удельный вес нефти до обработки, вязкость нефти и удельный вес растворителя.

Выявление этих факторов с одной стороны позволяет правильно выбрать скважины для проведения обработок по воздействию на призабойную зону скважины, с другой стороны – оценить эффективность проводимых обработок.

Таблица 2 – Геолого-промысловые данные по скважинам, где была произведена обработка призабойной зоны скважин пенами

	α	$h_{пер}$	H	Γ_H	% смол	Y_p	Y_H	$P_{нар}$	$t_{осв}$	%B	$R_{ж}$	V_p
α	1,0000											
$h_{пер}$	-0,0856	1,0000										
H	-0,0575	-0,2152	1,0000									
Γ_H	0,1188	-0,4053	-0,1854	1,0000								
% смол	0,3247	0,1721	-0,3526	0,2962	1,0000							
Y_p	0,1282	0,0491	-0,1701	0,3030	0,2370	1,0000						
Y_H	0,2214	-0,0771	-0,4412	0,6005	0,5364	0,2017	1,0000					
$P_{нар}$	-0,0132	0,1562	0,0569	-0,1500	0,0706	-0,0328	-0,4212	1,0000				
$t_{осв}$	-0,0078	-0,2246	-0,0292	0,0920	-0,1302	-0,0344	0,2740	-0,4522	1,0000			
%B	-0,0065	-0,0559	-0,3177	0,5761	0,6842	-0,0396	0,6452	0,0876	-0,0418	1,0000		
$R_{ж}$	0,0981	-0,2777	0,0907	0,1247	0,1642	0,6038	0,0834	0,0844	0,0637	-0,0271	1,0000	
V_p	-0,0805	0,1440	0,3301	-0,5286	-0,6889	0,1895	0,7066	0,1922	-0,0693	-0,8794	0,1342	1,0000

Таблица 3 – Геолого-промысловые данные по скважинам месторождения «I», где была произведена обработка призабойной зоны растворителями

α	H	$h_{пер}$	Γ_H	Y_H	% смол	V_p	Y_p	$P_{нар}$	$t_{осв}$	%B	S	n	d
1,0000													
0,1576	1,0000												
0,2340	0,1403	1,0000											
0,0047	0,5575	0,1413	1,0000										
0,2235	-0,3186	0,2766	-0,1841	1,0000									
-0,0235	-0,1818	-0,1176	0,2509	0,1772	1,0000								
-0,0219	-0,0012	0,2696	0,1314	0,1740	0,2918	1,0000							
0,3668	0,4911	-0,0174	0,0521	-0,0471	0,0344	0,0271	1,0000						
0,1606	0,2706	0,3881	-0,1479	0,1960	-0,1281	0,3023	0,3030	10000					
-0,4843	0,0982	-0,5336	-0,0345	0,3470	0,2506	-0,2691	0,0662	-0,3603	10000				
-0,0886	0,0970	0,2231	0,2587	-0,2596	-0,0413	0,2769	-0,1071	0,1328	0,1038	1,0000			
0,0022	-0,1979	-0,1852	0,2815	0,1551	0,3870	0,1027	-0,3544	0,2810	-0,1628	0,0969	1,0000		
0,1284	-0,2154	-0,1102	-0,3097	0,1818	-0,3622	-0,0837	-0,1258	-0,1958	-0,1961	0,0313	-0,0386	10000	
-0,4740	-0,2463	-0,1406	-0,0736	0,1831	-0,0171	0,1417	-0,2114	-0,0357	0,2934	-0,2934	-0,0681	-0,0618	1,0000

Список литературы:

1. Мирзаджанзаде А.Х., Степанова Р.С. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа. – Изд-во «Недра», 1977.
2. Альварато В., Манрике Э. Методы увеличения нефтеотдачи пластов. Планирование и стратегии применения. – М. : Премиум инжиниринг, 2011. – 244 с.
3. Review on chemical flooding methods applied in enhanced oil recovery / A. Gurgel [et al.] // Brazilian Journal of Petroleum and Gas. – 2008. – No 2. – P. 83–95.
4. Alvarado V., Manrique E. Enhanced oil recovery: an update review // Energies. – 2010. – No 3. – P. 1529–1575.
5. Thomas S., Farouq Ali S.M. Status and Assessment of Chemical Oil Recovery Methods // Energy Sources. – 1999. – No 21. – P. 177–189.
6. Larry L. Basics of enhanced oil recovery methods. – М. : University of Texas, 1988. – 449 p.
7. Ибрагимов Х.М., Шафиев Т.Х. Об эффективности воздействия на призабойную зону скважины новым кислотным составом // АНХ. – 2018. – № 5.
8. Selection of effective solvents – universal modification of presently available enhanced oil recovery methods and oil production stimulation processes / A.T. Litvin [et al.] // В сборнике: Society of Petroleum Engineers – SPE Russian Petroleum Technology Conference 2020. – RPTC 2020.
9. Effective Matrix Acidizing Based in Chelating Agents: A Case Study in Romanian Heavy Oil Reservoirs / E. Panait [et al.] // Society of Petroleum Engineers. – 2018, December 10. doi: 10.2118/193723-MS.
10. Ballinas J.J. Viscous Fingering Stimulation Option Applied on Heavy-Oil Carbonate Reservoirs // Society of Petroleum Engineers. – 2014, September 24. doi: 10.2118/171126-MS.
11. Formation Damage Characterization of Horizontal Well in Extra-Heavy Oil Reservoir and Methods of Remedy / Z. Liu [et al.] // Society of Petroleum Engineers. – 2018, June 22. doi: 10.2118/191158-MS.
12. Chemical Stimulation at a Heavy-Oil Field: Key Considerations, Work Flow, and Results / A. Wilson [et al.] // Journal of Petroleum Technology. – 2018. – Т. 70. – № 03. – С. 77–78.
13. Гуторов А.Ю. Опыт применения различных видов солянокислотных обработок для увеличения продуктивности нефтедобывающих скважин на месторождениях Татарстана // Нефтегазовое дело. – 2012. – Т. 10. – № 3. – С. 54–58.
14. Castro L.U., & Morales R.A. A Practical Guideline for Selection and Application of Chemical Treatments for Production Enhancement in Heavy Oil Reservoirs // Society of Petroleum Engineers. – 2016, October 19. doi: 10.2118/181183-MS.
15. A New Acid Treatment Procedure To Improve Injectivity in Brazil Offshore Horizontal Wells / R. Farias [et al.] // Society of Petroleum Engineers. – 2010, January 1. doi: 10.2118/126324-MS.
16. First Combination Of Acid & Steam Provides A New Dimension To Heavy Oil Enhanced Recovery Process / T. Shaheen [et al.] // Society of Petroleum Engineers. – 2012, January 1. doi: 10.2118/154293-MS.
17. Production Optimization in Heavy Oil Recovery Processes / C. Temizel [et al.] // Society of Petroleum Engineers. – 2016, December 6. doi: 10.2118/184135-MS.

СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ НА УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ

**Балаба
Владимир Иванович**

**Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
бурения нефтяных и газовых скважин
balaba.v@gubkin.ru

**Гречищева
Наталья Юрьевна**

**Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина**
доктор химических наук, доцент, профессор кафедры
промышленной экологии

**Заворотный
Виталий Леонидович**

**Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина**
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
промышленной экологии

Аннотация. Имеет место тенденция увеличения объемов применения технологических жидкостей на углеводородной основе (РУО). Это связано, в первую очередь, с развитием производства для них отечественных компонентов. Показано, что РУО как физико-химические системы являются более сложными по сравнению с жидкостями на водной основе. Для того чтобы обеспечить высокую эффективность необходимо рассматривать технологию применения РУО как систему взаимосвязанных элементов на протяжении всего их жизненного цикла. С этой целью целесообразно разрабатывать Паспорт РУО, содержащий исчерпывающую информацию о действиях с РУО от приготовления до утилизации. Технология жизненного цикла РУО должна базироваться на принципах зеленой химии.

Ключевые слова: технологические жидкости на углеводородной основе, жизненный цикл технологических жидкостей, паспорт технологической жидкости, зеленая химия.

Перспективным направлением совершенствования технологии бурения скважин является применение технологических жидкостей на углеводородной основе (традиционное название – растворы на углеводородной основе – РУО). Это связано с уникальными их свойствами, позволяющими решать проблемы, для которых жидкости на водной основе мало эффективны (снижение фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов, деформационная неустойчивость глинистых и соленосных отложений и т.д.). При этом РУО как физико-химические системы являются более сложными по сравнению с жидкостями на водной основе [1–4]. Так, для их приготовления требуются специфические компоненты, а для управления качеством, например, с целью сохранения стабильности эмульсии РУО, особенно в условиях высоких температур и давлений, требуется персонал, обладающий специальными знаниями и практическими навыками.

Таким образом, эффективность РУО как сложного объекта обуславливают множество факторов как внутренних, например качество компонентов, так и внешних, в частности условия применения и эксплуатации. Для того чтобы обеспечить высокую эффективность РУО необходимо учитывать все эти факторы и разрабатывать технологию применения как систему взаимосвязанных элементов.

Подчеркнем, что речь идет о технологии как системе, а не об обычном комплексе мероприятий, формируемых из набора известных технических решений. В жизнен-

ном цикле РУО принимают участие различные организации – от разработчика РУО до компании, занимающейся утилизацией отходов РУО. В случае технологической компании, разрабатывающей, изготавливающей и применяющей РУО число участников в жизненном цикле растворов минимально. Но и в этом случае есть производители химической продукции и, например, компании, оказывающие услуги по утилизации отходов РУО или кондиционированию РУО с целью повторного использования.

Таким образом, существует потребность в последовательном документационном сопровождении РУО на протяжении всего их жизненного цикла. С этой целью целесообразно разрабатывать Паспорт РУО, содержащий исчерпывающую информацию о действиях с РУО от приготовления до утилизации. Иными словами, такой документ, в отличие от традиционных технологических регламентов, должен быть инвариантен по отношению, например, к конструкции скважины.

Технология жизненного цикла в Паспорте РУО должна базироваться на следующих основных принципах зеленой химии.

1. Сокращение источников и уменьшение химических опасностей. Важно разрабатывать и использовать технологические жидкости, которые менее токсичны и опасны для здоровья человека и окружающей среды. Это вполне достижимо, так как уже разработан ряд низкотоксичных биоразлагаемых компонентов (например, деароматизированных низкотоксичных углеводородов, минеральных масел, синтетических углеводородов, биоразлагаемых ПАВ, солей и других компонентов) [5–7].

2. Использование ресурсосберегающих технологий. Обращение с РУО должно предусматривать минимизацию потребления всех типов ресурсов, разумеется, без ущерба для реализации их функционального назначения. Причем это касается не только собственно РУО, но и их влияния на другие технологические процессы, например, цементирование обсадных колонн [8].

3. Минимизация образования отходов. При планировании применения РУО с целью снижения отходов крайне желательно использовать технологию трансформируемых буровых технологических жидкостей [9].

Специфику технологических отходов бурения определяет углеводородная основа РУО. Проблема отработанных РУО решается путем их кондиционирования для повторного применения. Объем образующихся при этом отходов, как правило, незначителен. Основные проблемы возникают с углеводородсодержащим буровым шламом. Четырехступенчатая система очистки бурового шлама позволяет снизить остаточное содержание углеводородов 4-5 % и вернуть значительный объем углеводородной основы РУО для повторного использования. Дальнейшее обезвреживание бурового шлама возможно, в частности, путем термической десорбции, отмыва растворителями, микробиологической очистки. В паспорте РУО должна быть обоснована наиболее эффективная технологическая схема обезвреживания бурового шлама.

4. Предупреждение и локализация аварийных ситуаций. Для размещения РУО должны быть использованы безопасные емкости, минимизирующие испарение вредных веществ и предотвращающие утечку в окружающую среду. Наиболее вероятной аварийной ситуацией может быть разлив углеводородной основы или непосредственно РУО с загрязнением почв или водных объектов. В паспорте РУО должна быть обоснована наиболее эффективная технология предотвращения, локализации и сбора углеводородов [10, 11].

5. Контроль процессов жизненного цикла РУО. В процессе обращения с РУО необходимо контролировать их качество и эффективность использования, возможные технологические риски. Контроль технологических свойств регламентирован ГОСТ 33697-2015 [12]. Оценку токсичности дисперсионной среды РУО рекомендовано проводить методом биотестирования [13].

Список литературы:

1. Технологические жидкости на углеводородной основе и экологические аспекты их применения при бурении скважин / В.Л. Заворотный [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 3. – С. 54–58.

2. Проектирование и инжиниринг буровых растворов для строительства скважин в условиях высоких температур и давлений / С.В. Игнатъев [и др.] // Бурение и нефть – 2023. – № 3. – С. 34–47.
3. Оганисян Г.А., Шалыгин Р.К. Актуальные проблемы технологии промывки нефтегазовых скважин на континентальном шельфе // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2023. – № 2 (134). – С. 32–35.
4. Оценка эффективности растворов на углеводородной основе / Р.М.О. Зейналов [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 8 (332). – С. 44–48.
5. Перспективы применения синтетических углеводородных основ – дисперсионных сред буровых промывочных жидкостей на неводной основе / Л.А. Хахин [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2022. – № 5 (633). – С. 42–44.
6. Разработка и исследование низкотоксичных базовых жидкостей инвертно-эмульсионных буровых растворов для бурения на шельфе / В.Л. Заворотный [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2022. – № 4 (257). – С. 22–28.
7. Разработка и внедрение утяжеленных растворов на углеводородной основе / Е.В. Минаева [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 9 (188). – С. 30–33.
8. Мазуров В.А., Заворотный В.Л. Критерии выбора и методы оценки эффективности рецептур буферных жидкостей для скважин, пробуренных на ЭРУО // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 3 (182). – С. 66–69.
9. Балаба В.И., Грязнов И.В., Коновалов Е.А. Практическая реализация концепции трансформируемых буровых технологических жидкостей // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2011. – № 4. – С. 63–66.
10. Гречищева Н.Ю. Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнения почвенных и водных сред : автореф. дис. ... д-ра хим. наук / Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2017. – 32 с.
11. Оценка эффективности использования промывочных агентов гуминово-бентонитовых составов для очистки нефтезагрязненных грунтов / Н.Ю. Гречищева [и др.] // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27. – № 5. – С. 34–39.
12. ГОСТ 33697-2015 (ISO 10414-2:2011) Межгосударственный стандарт. Растворы буровые на углеводородной основе. Контроль параметров в промышленных условиях.
13. Заворотный В.Л., Стародубцева К.А., Запорожская А.А. Оценка токсичности дисперсионной среды буровых растворов и других систем на углеводородной основе методом биотестирования (СТО ТЭКСЕРТ 7.1-2022). – М. : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2022. – 15 с.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ 2 УЧАСТКА УРЕНГОЙСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Горпинченко
Алексей Николаевич

ООО «Газпром персонал» проект «Ачим Девелопмент»
заместитель генерального директора по общим вопросам
swengorr@yandex.ru

Аннотация. Уренгойское нефтегазоконденсатное месторождение, как и большинство уникальных месторождений на севере Западной Сибири, вошло в стадию падающей добычи. Эта проблема решается не только введением в эксплуатацию новых площадей, но и освоением более глубоких, чем традиционные сеноманские и валанжинские, ачимовских пластов, которые становятся своего рода «третьим дыханием» месторождений. Продуктивность данных отложений подтверждена на обширной территории Ямало-Ненецкого автономного округа, в них сосредоточены колоссальные запасы газа. Ряд факторов (глубина более 3,5 км, аномально высокие пластовое давление и температура, сложное геологическое строение, многофазное состояние залежей) определяют трудности освоения ачимовских залежей. В статье описаны методы разработки залежей газа, газового конденсата и нефти в ачимовских отложениях Уренгойского месторождения, а также других районов Западной Сибири; обобщены наиболее эффективные технологии вскрытия продуктивных пластов и интенсификации притока; приведены предложения по разработке ряда пластов.

Ключевые слова: характеристика разработки ачимовских отложений Уренгойского месторождения; начальная продуктивность скважин с разным типом вскрытия; разработка ачимовских отложений на Уренгойском месторождении; варианты вскрытия ачимовских пластов; зависимость продуктивности «средней» скважины от типа вскрытия пластов; разработка ачимовских отложений на других месторождениях; предложения по разработке ачимовских отложений.

Разработка ачимовских отложений на Уренгойском месторождении

По состоянию на 01.01.2022 г. на Уренгойском месторождении испытано 252 объекта, суммарно исследовано 9 пластов. Основная часть исследований приходится на пласты Ач₃, Ач₄ и Ач₅, характеризующихся максимальной изученностью. Вместе с тем, отмечается низкая изученность пластов Ач₁, Ач₂ и Ач₆ исследованиями по определению их продуктивных характеристик и по определению состава и свойств добываемого флюида.

Рассмотрим результаты отработки ачимовских отложений в эксплуатационных скважинах двух действующих опытных участков месторождения: 1А и 2А.

По участку 1А

По состоянию на 01.01.2022 г. завершены испытания 25 эксплуатационных скважин. Дебит пластовой смеси в ходе исследований изменялся от 226,8 тыс. м³/сут. (скважина № 1А032, режим на штуцере диаметром 6,35 мм) до 882,9 тыс. м³/сут. (скважина № 1А181, режим на штуцере диаметром 14,29 мм), величина забойного давления при этом составила 51,9 и 43,9 МПа соответственно.

По итогам интерпретации продуктивность скважин в пределах участка 1А изменяется от 0,22 (скважина № 1А033) до 0,963 тыс. м³/(МПа²·сут.) (скважина № 1А233) при среднем значении 0,622 тыс. м³/(МПа²·сут.). Разброс значений объясняется неоднородностью свойств и различием способов вскрытия ачимовских залежей. Наибольшая продуктивность отмечается у скважин с вертикальным вскрытием с ГРП на пласты Ач₃₋₄ и Ач₅. На рисунке 1 представлено сравнение значений коэффициента продуктивности после пуска скважины в эксплуатацию в зависимости от типа вскрытия пласта.

Среднее значение коэффициента продуктивности субгоризонтальных скважин по данным первичных исследований составляет 0,418 тыс. м³/(МПа²·сут.), что на 40 % меньше значения для вертикальных скважин с ГРП, которое составило 0,695 тыс. м³/(МПа²·сут.). Низкая эффективность субгоризонтальных скважин объяс-

няется низкой проницаемостью коллектора как по латерали, так и по вертикали. Отсюда следует, что величины проходки по продуктивному пласту трёхсотметровым субгоризонтальным стволом недостаточно для обеспечения высоких значений дебита при допустимой депрессии.

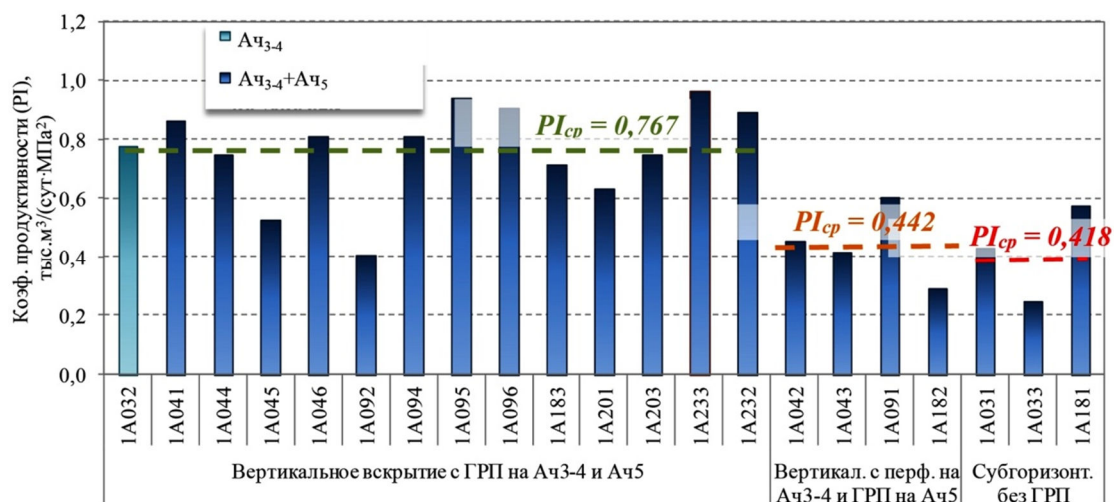


Рисунок 1 – Начальная продуктивность скважин участка 1А с разным типом вскрытия

За последние 5 лет совместным комплексом гидродинамических (ГДИ) и газоконденсатных (ГКИ) исследований охвачено 25 скважин эксплуатационного участка 1А. Ниже приведены результаты по анализу исследований скважин на нестационарных режимах фильтрации:

- основной причиной слабой отработки пласта Ач₅ является низкое значение проницаемости коллектора, при этом имеется достаточно хорошее качество его вскрытия, поскольку диагностируются высокие параметры трещин ГРП в его пределах;
- пласты Ач₃₋₄ и Ач₅ характеризуются достаточно низким значением вертикальной проницаемости, значение коэффициента анизотропии составляет около 0,05 доли ед.;
- при проведении ГРП в скважинах с вертикальным вскрытием происходит формирование трещины со средним параметром проводимости порядка 2488 мкм²·м для пласта Ач₃₋₄ и 1183 мкм²·м для пласта Ач₅. Параметр полудлины трещины пласта Ач₃₋₄ в среднем составляет 147 м, а пласта Ач₅ – 164 м;
- с момента пуска скважин параметры трещины ГРП сохраняются на прежнем уровне, что свидетельствует о неизменной её продуктивности, вследствие этого как минимум в течение 5–7 лет сохраняется эффект от ГРП;
- анализ чувствительности аналитической модели скважины с ГРП показывает, что в большей степени на продуктивность скважины влияет изменение полудлины трещины ГРП, чем изменение её проводимости. Тестовые расчёты показывают, что ощутимый прирост продуктивности скважины (до 20 %) достигается увеличением площади дренирования, нежели улучшением фильтрационных параметров трещины (до 5 %).

В результате ГИС-контроля по определению профилей притока установлено, что во всех скважинах наблюдается неравномерная выработка запасов по эксплуатационным объектам. В большинстве скважин, несмотря на проведение ГРП, основная доля продукции скважины поступает из пласта Ач₃₋₄, тогда как пласт Ач₅²⁻³ практически не обрабатывается. Согласно результатам моделирования интенсификации притока, в ряде скважин наблюдался рост трещины в высоту. При проведении работ по большесобъёмному ГРП на пласт Ач₅²⁻³ вероятность формирования канала до пласта Ач₃₋₄ достаточно велика. Таким образом, можно предположить, что в работе пласта Ач₃₋₄ возможно участие флюида из нижележащего продуктивного пласта Ач₅²⁻³.

По участку 2А

Сбор природного газа от кустов осуществляется по лучевой схеме с помощью системы кустовых газосборных шлейфов-коллекторов. Добыча газа осуществляется

через эксплуатационные скважины, которые группируются в кусты из 2–5 скважин в зависимости от мощности пласта, дифференцированная система вскрытия – небольшая нагрузка на верхнюю часть разреза, и вскрытие низов всего одной скважиной.

По состоянию на 01.01.2022 г. в действующем фонде числится 17 скважин, пробуренных с пяти кустовых площадок, из них скважины № № 2A083, 2A091, 2A094, 2A095, 2A121, 2A124 и 2A131 имеют субгоризонтальное окончание ствола до 300 м. Остальные скважины участка 2А пробурены с вертикальным вскрытием целевых горизонтов с последующим выполнением ГРП.

Исследования проведены на 16 эксплуатационно-оценочных скважинах. Согласно полученным данным, дебит за время исследований изменялся от 114,5 (скважина № 2A092) до 802,3 тыс. м³/сут. (скважина № 2A114) при забойных давлениях 37,3 и 37,8 МПа.

Продуктивность эксплуатационных скважин участка 2А изменяется в диапазоне от 0,14 (скважина № 2A083) до 0,88 тыс. м³/(сут. · МПа²) (скважина № 2A123) при среднем значении 0,29 тыс. м³/(сут. · МПа²). В отличие от участка 1А, на субгоризонтальных скважинах проведён гидроразрыв пласта, что позволило уменьшить разницу в продуктивности скважин с данным типом вскрытия и с вертикальным профилем.

По итогам интерпретации результатов ГДИ участка 2А можно сделать следующие выводы:

- как и в случае скважин участка 1А, наблюдается сохранение параметров сформированной трещины ГРП с течением эксплуатации скважин. Прогнозируется сохранение эффекта от ГРП на протяжении как минимум 5–7 лет после проведения мероприятия;

- на скважине № 2A123 выполнен ГРП по технологии HiWay (компания «Schlumberger»). В результате в пласте размещено около 120 тонн проппанта. Согласно представленной информации, параметр проводимости трещины ГРП, выполненного по технологии HiWay, обладает более высокими значениями, чем при использовании стандартных технологий интенсификации притока методом ГРП, что позволяет достигать высоких значений дебита газа при меньших депрессиях на пласт. По результатам моделирования диагностируется значение параметра проводимости трещины порядка $1001 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2 \cdot \text{м}$, при этом полудлина трещины составляет 77,9. Ввиду невысоких объёмов закачки проппанта полудлина трещины ГРП ниже, чем на соседних скважинах участка. Однако по результатам выполненного комплекса ГДИ непосредственно после интенсификации притока рано судить о положительном или отрицательном эффекте от ГРП по технологии HiWay.

Учитывая полученный опыт при интерпретации результатов ГДИ, выполнены дополнительные тестовые расчёты, основной целью которых являлось определение максимальной продуктивности скважин в условиях ачимовских отложений Уренгойского месторождения. Кроме того, при выборе расчётных вариантов руководствовались тем, чтобы выбранная конструкция скважин позволяла решать проблемы, присущие ачимовским коллекторам (анизотропия, прерывистость, малая зона дренирования и др.). В итоге по нарастающей рассмотрено 4 варианта вскрытия ачимовских пластов (рис. 2):

- 1) вертикальное вскрытие;
- 2) вертикальное вскрытие + ГРП;
- 3) субгоризонтальное вскрытие;
- 4) субгоризонтальное вскрытие + многостадийный ГРП.

В качестве исходных данных выступили средние значения по проницаемости пластов Ач₃, Ач₄ и Ач₅, полученные по данным ГДИ. По результатам моделирования отмечается, что субгоризонтальная скважина с многостадийным ГРП обеспечивает максимальную продуктивность в данных условиях за счёт приобщения выше- и нижележащих пропластков, не участвующих в фильтрации при субгоризонтальном вскрытии (рис. 3).

Несмотря на высокие продуктивные характеристики данного типа вскрытия и возможности сокращения числа скважин, также имеется список отрицательных факторов, к которым можно отнести опыт строительства подобных скважин и сложность выполнения геофизических исследований, а также необходимо учитывать, что данный эффект достигается за счёт трещин, расположенных перпендикулярно стволу скважины. В условиях их формирования вдоль ствола имеется шанс не достижения столь высокого прироста про-

дуктивности в сравнении с субгоризонтальной скважиной. Таким образом, необходимо дальнейшее изучение данного типа скважин на ачимовских отложениях.

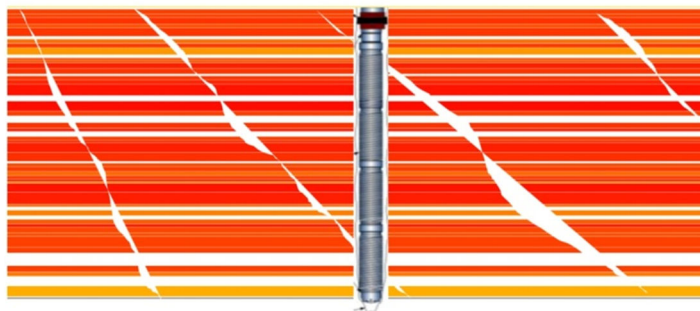
вертикальное вскрытие

плюсы:

- стоимость строительства;
- возможность выполнения объёмного ГРП;

минусы:

- низкий индекс доходности затрат;
- высокие депрессии



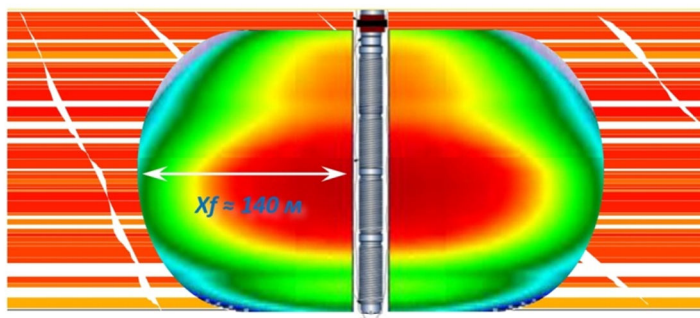
вертикальное вскрытие + ГРП

плюсы:

- имеется опыт проведения ГРП;
- высокий и стабильный индекс доходности затрат;
- эффект от ГРП минимум 7 лет;

минусы:

- достоверное диагностирование роста трещины по вертикали;
- сложность создания протяжённых от скважины трещин



субгоризонтальное вскрытие

плюсы:

- возможность сокращения фонда скважин;
- приобщение удалённых зон;

минусы:

- стоимость строительства;
- невозможность проведения PLT исследований*



$hw \approx 1050 \text{ м}$

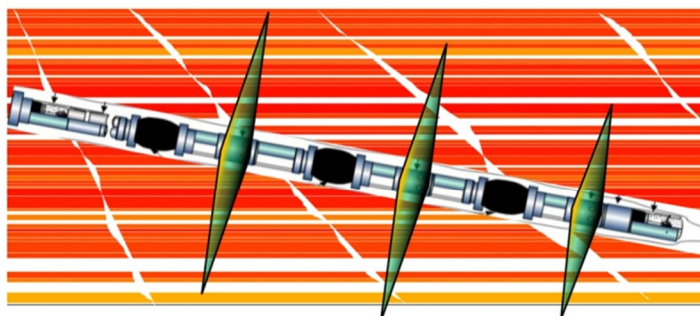
субгоризонтальное вскрытие + многостадийный ГРП

плюсы:

- возможность сокращения фонда скважин;
- высокая площадь дренирования;

минусы:

- стоимость и опыт строительства;
- невозможность проведения PLT исследований*;
- отсутствие прямых аналогов и геомеханической модели **ГРП вдоль ствола скважины**



$hw \approx 1050 \text{ м} + \text{МГРП}$

* PLT – промыслово-каротажная система, предназначенная для геофизических исследований при контроле за разработкой нефтегазовых месторождений, с возможностью регистрации данных в режиме реального времени либо записью в блок памяти

Рисунок 2 – Условные схемы расположения скважин в пласте при расчёте вариантов вскрытия ачимовских пластов: X_f – полудлина трещины ГРП; hw – работающий интервал по длине субгоризонтальной скважины

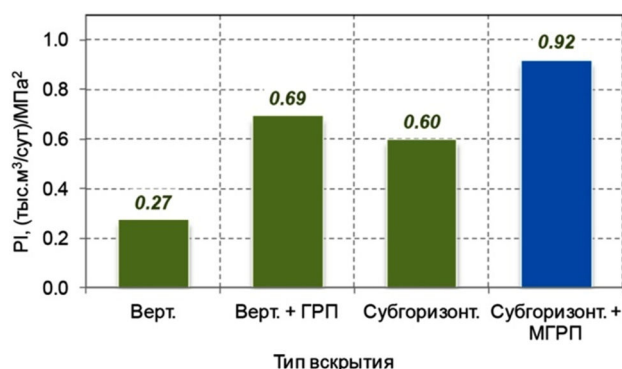


Рисунок 3 – График зависимости продуктивности «средней» скважины от типа вскрытия пластов

В настоящий момент однозначно сложно сказать о преимуществе вертикальных или субгоризонтальных скважин на ачимовские горизонты Уренгойского месторождения. Технология бурения скважин с вертикальным вскрытием и выполнением большеобъемного ГРП показала однозначные плюсы в контексте получения надёжных и прогнозируемых результатов. Вместе с тем, при бурении скважин с субгоризонтальным окончанием возникало большое количество сложностей. Выполнение же ГРП на данных скважинах выполнялось по большей части по «слепой» схеме.

Преимущество скважины с вертикальным вскрытием с применением ГРП над субгоризонтальным вскрытием без ГРП обусловлено созданием на достаточно большом удалении от забоя скважины высокопроводящего канала связи с пластом, что, безусловно, увеличивает площадь дренирования и позволяет преодолевать зону снижения фильтрационных сопротивлений, диагностируемую по скважинам с субгоризонтальным вскрытием, а высокая проницаемость самой трещины, которая кратно превышает проницаемость пласта, позволяет выносить газоконденсатную смесь даже при небольшом перепаде давления между забоем и крыльями трещины. В результате диагностируемая величина скин-фактора по скважинам с ГРП варьируется в диапазоне отрицательных значений и сохраняется на протяжении как минимум 8 лет эксплуатации, что в сравнении с субгоризонтальным вскрытием выглядит предпочтительнее, т.к. уже по итогам первого года эксплуатации наблюдается рост фильтрационных сопротивлений в призабойной зоне пласта и скин-фактора до положительного значения.

Положительный эффект от ГРП (значительное увеличение дебита скважины и повышение эксплуатационных параметров относительно первоначальных исследований) получен на вертикальной скважине № 3.4 и на двух субгоризонтальных скважинах № 2.5 и № 4.4 (табл. 1).

Таблица 1 – Данные исследований по скважинам до и после проведения ГРП

№ скважины	Дата	$\varnothing_{шб}$, мм	$P_{тр}$, МПа	$T_{уст}$, °С	$Q_{газа}$, тыс. м ³ /сут.	$Q_{конд}$, м ³ /сут.	
3.4	26.07.2009	10	19,22	29	271,69		ГКИ до ГРП
	10.10.2009	10,1	39,24	55	447,31	247,52	ГКИ после ГРП (300 тонн)
4.4	05.11.2009	10	14,22	21	222,02		освоение до ГРП
	30.11.2009	10	19,61	29,5	281,92		освоение после 1-го ГРП (45 тонн)
	11.12.2009	10	35,31	53	388,91		освоение после 2-го ГРП (160 тонн)
2.5	22.10.2009	10,1	23,06	49	358,48	129,03	ГКИ до ГРП
	12.01.2010	10,2/27	36,15	55	541,03	197,58	ГКИ после ГРП (254 тонн)

За время эксплуатации скважин падение устьевого давления составило: по скважине № 3.4 за 2 месяца – 5,2 МПа (с момента запуска 6,3 МПа); по скважине № 4.4

за 2 месяца падение $P_{уст}$ составило 4,9 МПа (с момента запуска 5,8 МПа; по скважине № 2.5 за 2 месяца падение $P_{уст}$ составило 4,6 МПа (с момента запуска 7,6 МПа). По этой скважине $P_{уст}$ продолжает снижаться, хотя темпы падения уменьшаются.

Наиболее интенсивное падение устьевых давлений по предварительным выводам наблюдается в первые 2–3 месяца после запуска скважины. По скважинам, на которых был проведён ГРП (№ № 3.4 и 4.4), наблюдается более быстрая стабилизация устьевых параметров. Относительно величины падения устьевого давления от первоначального недостаточно данных, чтобы сделать однозначные выводы.

На остальных семи скважинах (№ № 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 4.3, 5.1 и 5.3) по результатам освоения и исследования получены дебиты газоконденсатной смеси от 50 до 200 тыс. м³/сут. (табл. 2).

Таблица 2 – Полученные дебиты по результатам исследований

№ скважины	Ø _{шб} , мм	$P_{пр}$, МПа	$T_{уст}$, °С	$Q_{смеси}$, тыс. м ³ /сут.	$Q_{конд}$, м ³ /сут.
2.1	10	5,88	17	96,2	
2.2	6,0/10,0	16,56	13	69,81	32,48
2.3	18	2,06	19	81,92	
2.4	8/13	17,36	22	116	61,75
5.1	10	14,71	28	223,49	
5.3	12	8,63	13	132,59	

Полученные притоки при низких устьевых давлениях и температурах (20-30 °С) и значительной депрессии на пласт (до 60 %) не отвечают проектным условиям и не обеспечивают устойчивую работу скважин.

Таким образом, опыт начального этапа эксплуатации показывает, что для обеспечения проектных эксплуатационных режимов работы и ввода в эксплуатацию скважин пока единственным действенным методом интенсификации притока является большеобъёмный ГРП.

Проблемы, выявленные на начальном этапе разработки 2 участка

Причиной невыхода скважин на проектный эксплуатационный режим работы являются низкие коллекторские свойства пласта и несоответствие качества растворов, применяемых при строительстве, техническим и геологическим условиям проводки скважин. Изначально невысокие коллекторские свойства ачимовских отложений, возможно, усугубляются тем, что ПЗП забивается частицами твёрдой фазы и фильтратом бурового глинистого раствора.

Для сохранения фильтрационных характеристик призабойной зоны скважин следует строго соблюдать технологию первичного и вторичного вскрытия продуктивных пластов. Высокая скорость бурения (как следствие, утяжеление промывочной жидкости частицами шлама и возрастание репрессии на пласт) и быстрый спуск бурильного инструмента в скважину (создаётся дополнительная репрессия на продуктивные пласты) способствуют дополнительному проникновению фильтрата бурового раствора и глинистых частиц в поровое пространство породы-коллектора, что снижает её фильтрационную характеристику.

Для сохранения коллекторских свойств пласта предлагается провести бурение субгоризонтальной скважины в интервале ачимовских отложений на нефилтующемся буровом растворе без твёрдой фазы. При получении положительного эффекта можно внести соответствующие коррективы в проекты бурения на остальные скважины.

Помимо ухудшения коллекторских свойств пласта в процессе бурения возникли чисто технические проблемы при проводке субгоризонтальных стволов. Нередко в процессе бурения происходит нарушение стенок ствола скважины, образование каверн, наработка желобов с последующими осложнениями с буровым инструментом. Также нередко происходит поглощение глинистого раствора при вскрытии продуктивных пластов. Выходом может служить изменение профиля скважины на S-образный. При этом сокращается время проходки продуктивной части разреза и значит время,

когда глинистый раствор воздействует на ПЗП. Кроме того, более предсказуем ГРП. При этом снимается проблема проведения повторной перфорации и глубинных исследований ($P_{заб}$, $P_{пл}$) канатно-проволочной техникой в субгоризонтальном участке ствола.

Разработка ачимовских отложений на других месторождениях

На сегодняшний день ачимовские отложения начали разрабатывать (опытно-промышленная работка) на Ново-Уренгойском, Восточно-Уренгойском, Северо-Есетинском, Ево-Яхинском, Самбургском, Тарасовском, Ямбургском, Вынгапуровском, Покачёвском и др. Все месторождения находятся в пределах Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского АО.

Рассмотрим в качестве примера особенности эксплуатации ачимовских залежей и виды реализуемых работ на некоторых месторождениях.

Ноябрьский регион, Вынгапуровское месторождение (ЯНАО)

На глубинах 2750–2950 м, где залегают продуктивные отложения ачимовской толщи в Ноябрьском регионе, породы представлены чередованием мелкозернистых песчаников, алевролитов с аргиллитами, которые имеют проницаемость не более 3 мД, а зачастую ниже 1 мД. Кроме того, нередко пласты сильно заглинизированы, карбонатизированы, что затрудняет интерпретацию данных ГИС. В 80-е годы прошлого столетия разработка данных пластов с помощью имеющихся на тот момент технологий была признана нецелесообразной.

С усовершенствованием способов повышения нефтеотдачи и падением добычи на неокомских залежах геологи вновь обратились к трудноизвлекаемым ачимовским запасам. Развитие технологий бурения горизонтальных стволов, проведения многостадийных ГРП, большеобъемного ГРП, появление новых методов заканчивания скважин и интенсификации притока, технологии зарезки дополнительных боковых стволов решили большую часть проблем, которые возникли при пробной разработке отложений этого горизонта, и позволили получать рентабельные дебиты со скважин.

В 2013 и 2014 гг. на Вынгапуровском месторождении пробурено 8 горизонтальных скважин на пласт Ач с применением многостадийного ГРП. Все скважины за первый месяц эксплуатации продемонстрировали довольно высокий средний дебит: около 110 м³/сут. по жидкости и 53 тонн/сут. по нефти. На этих участках средний текущий дебит нефти с неокомских пластов тогда не превышал 20 тонн/сут. На двух других скважинах в 2014 году провели зарезку боковых стволов. После проведения геолого-технических мероприятий стартовый дебит нефти на скважинах составил 31–35 тонн/сут. Опыт признали успешным, и сейчас рассматриваются варианты применения этой технологии на других участках месторождения.

Конитлорское месторождение (ХМАО)

Ачимовская толща на Конитлорском месторождении представлена 28 залежами нефти в шести продуктивных пластах: Ач₁, Ач₂, Ач₂¹, Ач₃, Ач₄ и Ач₅, объединённых в один эксплуатационный объект Ач₁₋₅.

Основными продуктивными пластами являются два верхних пласта: Ач₁ и Ач₂, меньшее значение имеют пласты Ач₂¹ – Ач₅. Каждый из этих объектов пластом называют весьма условно, так как они, имея линзовидное строение, как правило, сами состоят из нескольких линзовидных слабонаклонных тел. В основном пласты представлены низкопроницаемыми ($13 \cdot 10^{-3}$ мкм²) породами со средней нефтенасыщенностью около 0,65, средняя нефтенасыщенная толщина по пласту – 3,7 м, коэффициент нефтеотдачи невысокий – 0,212. Значение коэффициента расчленённости на отдельных участках достигает 20.

По площади объект Ач₁₋₅ разделён на 10 залежей. Для достижения утверждённого КИН на основных залежах 3, 4 и 7 реализуется трёхрядная блоковая система разработки с очаговым и приконтурным заводнением на отдельных краевых участках. На залежах 1 и 6 формируется приконтурное заводнение, на остальных залежах – очагово-избирательное.

Для разработки объекта реализуются различные технологии строительства скважины: наклонно-направленные скважины, горизонтальные скважины, скважины с одним и множеством горизонтальных стволов, к которым также можно отнести многоствольные горизонтальные скважины. Эксплуатация наклонно-направленных скважин позволила добыть 7676 тыс. тонн нефти с удельной добычей на скважину 15,1 тыс. тонн нефти, среднее отработанное время одной скважины – 3,4 года, обводнённость продукции – 75,7 %. Добыча нефти, обеспеченная горизонтальными скважинами, составила 912 тыс. тонн, при этом удельная добыча на одну скважину 19,8 тыс. тонн, среднее время работы – 3,9 года, обводнённость продукции составила 59,7 %. За счёт боковых горизонтальных стволов добыто 2469 тыс. тонн нефти, удельная добыча на одну скважину составила 24,7 тыс. тонн, среднее время работы скважины – 3,1 года, обводнённость – 41,6 %. Добыча нефти за счёт многоствольно-разветвлённых скважин составила 1206 тыс. тонн, на одну скважину в среднем приходится 80,4 тыс. тонн при среднем отработанном времени 5,7 лет, обводнённость продукции скважин – 51 %. Эффективность реализации скважин с несколькими боковыми стволами очевидна.

Для увеличения КИН на пластах ачимовской толщи реализуются следующие геолого-технологические мероприятия: ГРП, физико-химическая обработка призабойной зоны добывающих и нагнетательных скважин, дострел и перестрел, термогазохимическое воздействие, изоляционные работы и потокоотклоняющие и нефтеотмывающие технологии, а также их комплексное применение. Наибольшая эффективность получена от ГРП (дополнительная добыча нефти 12 тыс. тонн/скв.-опер.) и от комплексных перфорационных мероприятий, заключающихся в достреле и перестреле нефтенасыщенных интервалов (3 тыс. тонн/скв.-опер.).

ХМАО – Югра

На месторождениях рассматриваемого региона из 132 объектов разработки, которые относятся к пластам ачимовской толщи, разрабатывается 65, при этом в качестве основного агента воздействия на 47-ми объектах применяется нагнетание воды, по остальным объектам разработка осуществляется на условиях естественного режима эксплуатации.

Разработка данных объектов осложняется из-за влияния ряда факторов: низкой нефтенасыщенности, высокой степени расчленённости, прерывистости, низкой проницаемости коллекторов – все эти факторы предопределили применение методов, направленных на повышение охвата пласта дренированием и связности коллекторов (бурение скважин с горизонтальным окончанием, боковых стволов и ГРП).

Если обобщить опыт применения горизонтальных скважин по 25 объектам ачимовского нефтегазового комплекса по 21 месторождению, то минимальный входной дебит составляет 1,2 тонн/сут., максимальный – 95,3 тонн/сут., при этом среднее значение составляет 36,9 тонн/сут., что выше аналогичного показателя по наклонно-направленным скважинам в 1,68 раза. Дренируемые запасы по скважинам с горизонтальным окончанием превышают аналогичный показатель по наклонно-направленным скважинам в 1,32 раза (табл. 3).

Таблица 3 – Сравнение эффективности применения скважин с горизонтальным окончанием и наклонно-направленных скважин на ачимовских объектах

Значение	Входные дебиты по нефти, тонн/сут.		Входная обводнённость, %		Дренируемые запасы на скважину, тыс. тонн	
	ГС	ННС	ГС	ННС	ГС	ННС
среднее	36,9	21,2	34,5	37,6	76,9	66,5
минимальное	1,2	3,5	2,7	9,0	1,0	30,6
максимальное	95,3	49,1	87,6	88,3	410,7	122,2

В процессе анализа определены геологические критерии эффективности применения горизонтальных скважин. В качестве критерия эффективности выбран параметр, характеризующий объём дренируемых запасов Q_0 , приходящийся на 1 метр эф-

эффективной нефтенасыщенной толщины h . Граничное значение этого параметра определено на уровне 3–4 тыс. тонн/м, при этом Q_0 превышает 20 тыс. тонн на скважину. Для объектов с эффективным применением скважин с горизонтальным окончанием параметр $\frac{Q_0}{h}$ в среднем составляет 15,8 тыс. тонн/м, т.е. при средней эффективной толщине пласта $h = 8$ м дренируемые запасы составят порядка 120 тыс. тонн на горизонтальную скважину. К основным геолого-геофизическим параметрам, которые оказывают влияние на эффективность таких скважин, относятся нефтенасыщенность и проницаемость.

Предложения по разработке ачимовских отложений

На основе проведенного анализа геолого-промысловых характеристик и особенностей разработки ачимовских отложений сформировались следующие предложения по разработке не эксплуатируемых пластов данного горизонта на Уренгойском нефтегазоконденсатном месторождении:

1. По итогам обобщения результатов гидродинамических исследований разведочного фонда скважин в пределах Уренгойского месторождения отмечается достаточно слабая изученность как газоконденсатных, так и нефтяных залежей пластов Ач₁, Ач₂ и Ач₆. К тому же имеющиеся данные говорят о большом разбросе значений продуктивных характеристик в пределах одного пласта (у Ач₁ и Ач₂), следовательно, требуются дополнительные исследования пластов на всей территории месторождения.

Рассмотренные пласты Ач₂ (в первую очередь, Ач₁² и Ач₁³) отмечаются как обладающие хорошими геолого-промысловыми характеристиками наряду с разрабатываемыми наиболее продуктивными Ач₃, Ач₄ и Ач₅. По опыту разработки ачимовских отложений на Уренгойском нефтегазоконденсатном месторождении и на других месторождениях на данные пласты рекомендуется применение технологий бурения субгоризонтальных скважин с последующим многостадийным ГРП, а также скважин с несколькими боковыми стволами в зависимости от геометрии залежей и экономической оценки проведения мероприятий. Ввод в разработку осуществить на условиях естественного режима эксплуатации.

По результатам расчетов наибольшие значения КИН при прочих равных условиях достигаются при применении водогазового воздействия. Конечная нефтеотдача и срок разработки по вариантам приведены в таблице 4.

Таблица 4 – КИН и срок разработки по рассмотренным вариантам

Технология воздействия	Конечный КИН, д. ед./срок разработки, лет											
	9-ти точечная площадная система ННС						Рядная система ГС и ННС					
	Забойное давление, атм						Забойное давление, атм					
	70		110		150		70		110		150	
Заводнение	0,322	54	0,385	61	0,355	71	0,393	42	0,425	45	0,424	56
Нестационарное заводнение	0,285	77	0,275	86	0,261	98	0,362	49	0,345	55	0,345	66
Закачка газа	0,225	6	0,216	7	0,217	8	0,337	8	0,332	9	0,335	11
ВГВ	0,352	62	0,413	65	0,374	77	0,425	60	0,461	67	0,422	79

Так, по сравнению с вариантом разработки с традиционным заводнением с забойным давлением 110 атм. при водогазовом воздействии (ВГВ) с забойным давлением 110 атм. с применением наклонно-направленных добывающих скважин увеличение КИН составляет 7,9 %; с применением горизонтальных добывающих скважин увеличение КИН составляет 9,5 %. Однако срок разработки при применении ВГВ также оказывается несколько выше, чем при заводнении. Увеличение времени разработки составляет 6,5 и 9,8 % соответственно при применении наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Это обусловлено тем, что при переходе от полуцикла закачки газа к полуциклу закачки воды происходит захват и обволакивание водой части подвижного газа и перевод его в неподвижное состояние.

Варианты с закачкой газа характеризуются наиболее коротким сроком разработки, но также и наименьшим КИН, что обусловлено быстрыми прорывами газа в добывающие скважины по наиболее проницаемым прослоям, их выбытием по ограничению на газовый фактор и низким охватом пласта закачкой.

Рассмотрим эффективность применения метода водогазового воздействия при разработке ачимовских отложений Уренгойского месторождения с использованием средств гидродинамического моделирования. Расчёты производились на элементе модели пласта Ач₃₋₄ в районе разведочной скважины № 293. Выбор расположения элемента определялся исходя из средних геолого-физических параметров в целом по нефтенасыщенной части пласта Ач₃₋₄. При этом элемент характеризовался следующими геолого-физическими параметрами:

- нефтенасыщенная толщина пласта – 11 м;
- среднее значение эффективной пористости – 9,4 %;
- проницаемости – 0,8 мкм²;
- пластовое давление – 60,2 МПа;
- плотность нефти в пластовых условиях – 620 кг/м³;
- объёмный коэффициент – 1,88 доли ед.;
- газосодержание нефти – 483,5 м³/т;
- давление насыщения – 31,9 МПа.

На модели размещён семиточечный элемент сетки скважин, включающий 6 добывающих и 1 нагнетательную скважину в центре. Рассмотрены варианты, где в качестве вытесняющего агента применялась вода и попеременное нагнетание воды и сухого углеводородного газа с различной периодичностью (от 6 до 24 месяцев). Кроме того, дополнительно проведены расчёты, различающиеся по плотности сетки скважин. Расчётный период по вариантам разработки составляет 25 лет.

Ввиду наличия АВПД в первоначальный период разработка ведётся на режиме истощения пластовой энергии. После снижения пластового давления в зоне отбора до уровня гидростатического (37 МПа), нагнетательная скважина переводится под закачку рабочего агента. Предварительные расчёты показали, что для обеспечения более высокого коэффициента продуктивности добывающих скважин и необходимой приёмистости нагнетательной скважины, компенсирующей отбор нефти добывающими скважинами, необходимо улучшить гидродинамическую связь «пласт – скважина». Для этого эффективно применение ГРП. Для имитации трещины гидроразрыва в модели использовалось отрицательное значение скин-фактора, полученного по данным статистического анализа результатов гидродинамических исследований скважин с ГРП. Выполнены 7 вариантов расчёта, где в качестве базового использовался вариант с закачкой воды. Он показал себя наименее эффективным, накопленная добыча нефти составила 66,36 тыс. м³. Варианты водогазового воздействия характеризуются большей эффективностью. Накопленная добыча нефти при периодичности нагнетания оторочек газа и воды 6, 9, 12 и 24 месяцев составила 67,58; 68,20; 68,83 и 72,56 тыс. м³ соответственно.

Далее сравнивались варианты при цикличности нагнетания 24 месяца с различными вариантами плотности сеток скважин (36, 49, 64 га/скв.). В ходе расчётов установлено, что более редкая сетка скважин имеет преимущества по сравнению с более плотной. Так, накопленная добыча нефти по элементу с плотностью сетки скважин 64 га/скв. за расчётный период составила 72,56 тыс. м³, против 70,84 тыс. м³ при 49 га/скв. и 65,89 тыс. м³ при 36 га/скв.

Исходя из расчётов, периодичность закачки оторочек газа и воды, при которой достигается максимальный коэффициент извлечения нефти для данных геологических условий, составила 24 месяца и плотности сетки скважин 64 га/скв. Соотношение закачиваемых объёмов газа и воды для вариантов с ВГВ принято равным 1 : 3. При этом ранних прорывов газа не наблюдалось, средний газовый фактор по вариантам составил 331,8 м³/м³.

На основе результатов численных экспериментов на композиционной гидродинамической модели (созданной на основе обобщения данных керновых исследований и исследования глубинных проб нефти ачимовских отложений Западной Сибири) проведена оценка эффективности закачки воды, газа, совместного и чередующегося водогазового воздействия в зависимости от значений основных фильтрационно-емкостных свойств пласта, их распределения по пласту, а также от геометрии пласта. На её осно-

ве можно выдвинуть следующие рекомендации для применения метода на ачимовских нефтяных залежах:

- при водогазовом воздействии добывающие и нагнетательные скважины для максимизации нефтеотдачи необходимо размещать таким образом, чтобы движение фронта вытеснения происходило в направлении увеличения вертикальной сообщаемости пласта, увеличения проницаемости, увеличения начальной нефтенасыщенности пласта, снижения эффективной нефтенасыщенной толщины пласта и сверху вниз;
- водогазовое воздействие и закачка газа при прочих равных условиях более эффективны в пластах с более низкой вертикальной сообщаемостью, с более высокой средней эффективной нефтенасыщенной толщиной и с меньшим расстоянием между добывающими и нагнетательными скважинами.

Выводы

На Уренгойском нефтегазоконденсатном месторождении в опытно-промышленную разработку введены объекты Ач₃₋₄ и Ач₅. Сбор природного газа осуществляется по лучевой схеме через кусты из 2–5 скважин на условиях естественного режима эксплуатации. Пласты вскрыты вертикальными и субгоризонтальными скважинами с последующим проведением ГРП (в основном при вертикальном вскрытии). Ввиду низкой проницаемости коллекторов как по латерали, так и по вертикали, отмечается низкая эффективность скважин без ГРП, в том числе субгоризонтальных. Таким образом, опыт начального этапа эксплуатации показывает, что для обеспечения проектных режимов работы пока единственным действенным методом интенсификации притока является большеобъемный ГРП.

На других месторождениях ЯНАО и ХМАО-Югры ачимовские пласты также интенсивно вводятся в разработку, причём в данном случае введены нефтяные залежи. Реализуются различные технологии строительства скважин: наклонно-направленные, горизонтальные скважины, резка дополнительных боковых стволов, многоствольные горизонтальные скважины. Для увеличения КИН проводятся ГРП (в том числе большеобъемный и многостадийный), физико-химическая обработка призабойной зоны добывающих и нагнетательных скважин, дострел и перестрел, термогазохимическое воздействие, изоляционные работы и потокоотклоняющие и нефтеотмывающие технологии.

Результаты тестовых расчётов по выбору варианта вскрытия ачимовских пластов Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения показали, что максимальную продуктивность обеспечивает субгоризонтальная скважина с многостадийным ГРП. В данной связи искалось практическое использование данной технологии для ачимовских отложений на иных месторождениях – успешным оказался опыт его применения на Вынгапуровском месторождении. Следовательно, можно рекомендовать субгоризонтальные скважины с МГРП к применению и развитию на Уренгойском месторождении.

Данные усовершенствованные способы повышения нефтеотдачи и технологии бурения скважин рекомендуются к использованию для ввода в разработку нефтегазоконденсатных залежей горизонтов Ач₂, Ач₁², Ач₁³ и нефтяных – Ач₁⁴ и Ач₁⁵, а также для них в перспективе предлагается применение водогазового воздействия, как успешной технологии извлечения нефти, на основе ряда исследований.

Список литературы:

1. Борисов А.Г., Фролова Е.В. Литолого-петрофизическая классификационная модель ачимовских коллекторов Уренгойского месторождения // Газовая промышленность. – 2014. – № 8. – С. 12–16.
2. 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.

3. 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.

4. Горпинченко А.Н., Савенок О.В. Анализ роли дизъюнктивных дислокаций в экранировании ачимовских отложений Уренгойского месторождения // Опыт прошлого – взгляд в будущее: материалы 12-ой Международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов (02–03 ноября 2022 года, г. Тула). – Тула : Издательство Тульского государственного университета, 2022. – С. 10–15.

5. 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 // Технические и технологические системы: материалы XIII Международной научной конференции «ТТС-22» (23–25 ноября 2022 года). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 291–298.

6. Горпинченко А.Н., Жарикова Н.Х., Савенок О.В. Анализ разработки ачимовских отложений на месторождениях Западной Сибири // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Проблемы устойчивого развития: сборник трудов III Международной научно-практической конференции (08–09 декабря 2022 года, г. Ставрополь). – Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2022. – С. 26–33.

7. К вопросу о механизме формирования зон аномальных разрезов ачимовских отложений Западно-Сибирского региона / А.Н. Горпинченко [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2022. – № 2. – С. 15–26.

8. Горпинченко А.Н. Анализ промыслово-геофизических исследований в работающей эксплуатационной газовой скважине участка 1а ачимовских отложений Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 1. – С. 153–170.

9. Горпинченко А.Н. Анализ геологического строения Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения и особенности его нефтегазоносности // Булатовские чтения: материалы VII Международной научно-практической конференции (31 марта 2023 года): в 2 томах : сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2023. – Т. 1. – С. 19–36.

10. Горпинченко А.Н. Моделирование разработки отложений ачимовской свиты со сверхнизкими фильтрационно-емкостными свойствами в условиях АВПД на территории Западной Сибири // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 2. – С. 217–229.

11. Дубив И.Б. Опыт и эффективность применения ГРП на ачимовских отложениях Уренгойского месторождения // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвящённой 45-летию Тюменского топливно-энергетического комплекса и 80-летию Грайфера Валерия Исааковича (20–21 октября 2009 года, г. Тюмень). – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2009. – Т. 1. – С. 67–69.

12. Дубив И.Б., Скворцов С.В. Оценка эффективности применения метода водогазового воздействия на нефтяных залежах ачимовских отложений Уренгойского месторождения // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции, посвящённой 55-летию Тюменского государственного нефтегазового университета (19–20 октября 2011 года, г. Тюмень). – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2011. – Т. 1. – С. 192–193.

13. 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.

14. 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.

15. Жарикова Н.Х., Горпинченко А.Н., Масалова А.А. Анализ геолого-промысловый характеристики Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения с целью поиска месторождений-аналогов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 98–111.
16. Жарикова Н.Х., Савенок О.В., Горпинченко А.Н. Построение геологических и гидродинамических моделей ачимовских отложений южной части Приобского месторождения с целью проектирования прогнозных вариантов разработки // Нефтегазовая вертикаль. – 2023. – № 2. – С. 89–104.
17. Мылов Л.Ю., Безнощук Т.А., Азимов И.Д. Подсчёт запасов газа, газоконденсата и оценка рентабельности разработки месторождений Ачимовского пласта // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 5. – С. 977–981.
18. Геология газовых и газоконденсатных месторождений. К вопросу сохранения фильтрационных характеристик продуктивных пластов ачимовских отложений / В.В. Паникаровский [и др.] // Наука и техника в газовой промышленности. – 2005. – № 3. – С. 3–9.
19. Применение многостадийного гидроразрыва пласта при разработке ачимовских отложений Уренгойского месторождения / Е.В. Паникаровский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2020. – № 2. – С. 38–48. – URL : <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2020-2-38-48>
20. Паршуков А.В., Шай Т.А. Обобщение фильтрационно-емкостных свойств ачимовских отложений Уренгойской группы месторождений // Нефть и газ. – 2013. – № 3. – С. 25–30.
21. Раянов Р.Р., Казаков К.В., Бравичев К.А. Поиск оптимального варианта разработки низкопроницаемого и неоднородного ачимовского пласта месторождения Западной Сибири // Нефть, газ и бизнес. – 2016. – № 2. – С. 23–29.
22. 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.
23. Савенок О.В., Горпинченко А.Н., Шелухов Г.В. Анализ методов и технологий добычи углеводородного сырья в условиях аномальных пластовых давлений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 148–163.
24. Перспективы разработки ачимовских отложений на территории ХМАО-Югры / А.А. Севастьянов [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 12. – С. 112–115.
25. Тихонова А.А. Особенности геолого-промысловых характеристик ачимовских отложений Уренгойского НГК месторождения и их влияние на выбор схемы разработки / Санкт-Петербургский государственный университет; науч. рук. Ю.Э. Петрова. – Санкт-Петербург, 2017.
26. Особенности эксплуатации газоконденсатных скважин с пологим окончанием в условиях АВПД и низких ФЕС (на примере ачимовских отложений Уренгойского НГКМ) / В.П. Тюрин [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2016. – № 7 (53). – С. 40–45.

УДК 665.775.4

**ВОВЛЕЧЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ В БИТУМ
И ПОЛИМЕРНО-БИТУМНОЕ ВЯЖУЩЕЕ****Лукина
Виктория Игоревна****Дьячкова
Светлана Георгиевна****Житов
Роман Георгиевич****Иркутский национальный исследовательский
технический университет**
аспирант
lukina020895@yandex.ru**Иркутский национальный исследовательский
технический университет**
доктор химических наук, профессор кафедры
химической технологии им. Н.И. Ярополова
dyachkova@ex.istu.edu**ООО «Байкальский битумный терминал»**
кандидат химических наук, директор технический
zhitovroman@gmail.com

Аннотация. В данной статье показано, что вовлечение в полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) тяжелых нефтяных остатков, а именно гудрона, приводит к увеличению дополнительной жесткости композиции, что способствует пластичности дорожного покрытия, для того чтобы выдержать сильные нагрузки при эксплуатации и при этом сохранять монолитную структуру. Частичная замена компонента ПБВ, а именно экстракта остаточный селективной очистки на гудрон приводит к повышению маржинальности полимерно-битумного вяжущего (ПБВ) при соответствии его характеристик нормативным показателям (ГОСТ 58400.1-2019).

Ключевые слова: дорожный битум, гудрон нефтяной, тяжелый нефтяной остаток, полимерно-битумное вяжущее, экстракт остаточный селективной очистки.

В настоящее время все больше возрастает интерес к методам и способам, позволяющим повысить эффективность переработки нефтяного сырья без внушительных материальных и временных затрат. Как раз рассмотрение нефти и ее продуктов с позиции нефтяных дисперсных систем является одним из способа решения данных проблем. Нефтяные дорожные битумы – дисперсные системы, имеющие твердую или вязкую консистенцию, в которых дисперсионной средой являются ароматические углеводороды, масла и смолы, а дисперсной фазой – асфальтены [1–5].

Наиболее распространенными способами улучшения качества дорожных битумов являются смешение окисленного битума с нефтяными остаточными нефтепродуктами и модифицирование дорожных вяжущих полимерными добавками. Модифицирование нефтяного битума различными полимерными добавками с получением так называемых полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) является одним из перспективных способов решения проблемы повышения прочности и долговечности дорожного полотна [6, 7].

В связи с этим целью настоящей работы является исследование трансформации и химмотологических свойств полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) при вовлечении в них полидисперсных углеводородных систем, таких как тяжелых нефтяных остатков (гудронов).

В качестве объектов исследования использовались:

1. Дорожный нефтяной битум марки БНД 100/130 [1].
2. Гудрон нефтяной [2].
3. ПБВ [3] составом: БНД 100/130 (74,8 %масс.) + Сера (0,2 %масс.) + СБС Л 30-01А (5,0 %масс.) + Экстракт остаточный селективной очистки (ПН-6к) (20,0 %масс.).
4. Композиции с гудроном: БНД 100/130 (80,0 %масс.) + Гудрон нефтяной (20,0 %масс.) [4]; БНД 100/130 (74,8 %масс.) + Гудрон (20 %масс.) + Сера (0,2 %масс.) + СБС Л 30-01А (5,0 %масс.) [5]; БНД 100/130 (75,0 %масс.) + Гудрон (20 %масс.) + СБС Л 30-01А (5,0 %масс.) [6]; БНД 100/130 (75,4 %масс.) + Гудрон (8 %масс.) + Сера (0,1 %масс.) + СБС Л 30-01А (4,5 %масс.) + Экстракт остаточный селективной очистки (ПН-6к) (12,0 %масс.) [7].

Приготовление композиции с гудроном (общая методика). Смесь компонентов нагревали при температуре 175 °С при перемешивании (обороты мешалки 400 об/мин) в течение 6 часов. После 6 часов нагревали при температуре 145 °С при перемешивании (обороты мешалки 400 об/мин) в течение 2 часов. Охлаждали до 20–22 °С. Определяли характеристики композиции.

Испытания проб дорожного битума и композиций проводили по стандартизированным методикам:

1. Глубина проникания иглы при 0 °С и 25 °С по ГОСТ 33136-2014 с использованием автоматического пенетromетра ПН-20Б.

2. Температура размягчения по кольцу и шару по ГОСТ 33142-2014 с использованием автоматического аппарата КиШ-20М4.

3. Температура хрупкости по ГОСТ 33143-2014 с использованием автоматического аппарата АТХ-20.

4. Растяжимость при 25 °С по ГОСТ 33138-2014 с использованием аппарата для определения растяжимости ДБ-20-100.

5. Динамическая вязкость при 135 °С по ГОСТ 33137-2014 с использованием ротационного вискозиметра Брукфильда модификация DV2TRV.

6. Низкотемпературная устойчивость: жесткость S и параметр m , по ГОСТ Р 58400.8-2019 с использованием реометра для определения деформации, модуля упругости и предела ползучести асфальтовых связующих под постоянной нагрузкой ВВР3.

7. Сдвиговая устойчивость исходного битумного вяжущего по ГОСТ Р 58400.10-2019 с использованием реометра ротационного Kinexus DSR.

8. Сдвиговая устойчивость битумного вяжущего, состаренного по методу RTFOT по ГОСТ Р 58400.10-2019 с использованием реометра ротационного Kinexus DSR и испытательной печи RTFOT.

9. Усталостная устойчивость битумного вяжущего, состаренного по методу PAV по ГОСТ Р 58400.10-2019 и ГОСТ Р 58400.5 с использованием печи старения под действием давления и температуры тип 20-44000 PAV и реометра ротационного Kinexus DSR.

Нами показано, что при вовлечении только одного гудрона в битум [4] у нас снижается пенетрация и увеличивается растяжимость и динамическая вязкость (табл. 1).

Таблица 1 – Физико-химические показатели исходных композиций [1, 3] и композиций с гудроном [4–7]

Образец		1	2	3	4	5	6	7
Температура размягчения по кольцу и шару, °С		47	38	75	47	>80	76	74
Температура хрупкости, °С		–30	–	–42	–28	–36	–25	–37
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм		120	178	116	90	60	59	90
Растяжимость при 25 °С, 0,1 мм		58	–	33	>100	42	62	50
Динамическая вязкость при 135 °С, Па·с		0.33	–	1.17	0.40	3.50	2.85	1.23
Низкотемпературная устойчивость	Температура испытания, °С	–24	–	–24	–18	–6	–6	–24
	Жесткость S , МПа	49.60	–	58.29	76.43	22.78	29.47	70.52
	Параметр m	0.302	–	0.305	0.313	0.319	0.304	0.300
Усталостная устойчивость ($G^* \sin \delta$), при 10 рад/с	Температура испытания, °С	16	–	25	19	37	37	22
	Значение усталостной устойчивости, кПа	971	–	275	647	138	126	310
Сдвиговая устойчивость ($G/\sin \delta$) исходного битумного вяжущего при 10 рад/с	Температура испытания, °С	58	–	76	64	94	88	82
	Значение сдвиговой устойчивости, кПа	1.23	–	1.18	1.15	1.14	1.26	1.13
Сдвиговая устойчивость ($G/\sin \delta$) битумного вяжущего, состаренного по методу RTFOT	Температура испытания, °С	58	–	76	58	88	82	70
	Значение сдвиговой устойчивости, кПа	2.85	–	3.02	2.92	2.57	2.45	2.73

Обычно в ПБВ добавляют экстракт остаточный селективной очистки масел [3] в качестве пластификатора и растворителя. Замена экстракта остаточного селективной очистки гудроном [5] привела к значительному уменьшению температуры хрупкости, пене-трации и увеличению температуры размягчения и динамической вязкости. Система становится жесткой. Если в данном образце не добавлять в состав серу [6], то по сравнению с образцом [5], то снижается динамическая вязкость и температура размягчения.

С целью повышения маржинальности продукции нами была предпринята попытка частичной замены экстракта остаточный селективной очистки на тяжелый нефтяной остаток (гудрон) [7]. Установлено, что частичная замена экстракта гудроном приводит к улучшению эксплуатационных характеристик по сравнению с таковыми для образца с полной заменой экстракта гудроном [5, 6]. Это дает возможность получать с меньшей себестоимостью различные марки битумного вяжущего соответствующего ГОСТ 58400.1-2019.

Таким образом нами показано, что вовлечение тяжелых нефтяных остатков приводит к увеличению дополнительной жесткости композиции, что способствует пластичности дорожного покрытия, для того чтобы выдержать сильные нагрузки при эксплуатации и при этом сохранять монолитную структуру.

Список литературы:

1. Полякова В.И. К вопросу о структурообразовании дорожных вяжущих материалов // Дороги и мосты. – 2016. – № 2. – С. 233–264.
2. Унгер Ф.Г., Андреева Л.Н. Фундаментальные аспекты химии нефти. Природа смол и асфальтенов. – Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН. 1995. – 188 с.
3. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
4. Гуреев А.А. Нефтяные вяжущие материалы. – М. : Издательский дом «Недра», 2018. – 242 с.
5. Трансформация нефтяных дисперсных систем в процессе эксплуатации / В.Д. Черепанов [и др.] // Известия Вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2021. – № 3. – С. 481–490.
6. Герман А.М., Ширкунов А.С., Рябов В.Г. Применение полиэтилена и стирол-бутадиенстирольных модификаторов для производства дорожных полимерно-битумных вяжущих на базе неокисленных высококипящих нефтепродуктов // Химическая технология и биотехнология: вестник ПНИПУ. – Пермь, 2021. – № 4. – С. 55–69.
7. Получение дорожных битумов компаундированием переоокисленных битумов с гудроном / Н.Г. Евдокимова [и др.] // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2005. – 12 с.

УДК 622.248

ПРОАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ЛИКВИДАЦИИ ПРИХВАТА БУРИЛЬНЫХ ТРУБ, ВЫЗВАННОГО СОЧЕТАНИЕМ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

**Майкоби
Алию Абубакар**

Уфимский государственный нефтяной
технический университет
аспирант
alimaikobi@mail.ru

**Аль-сухили
Мохаммед Хамуд-Абду**

Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Ассистент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин»

**Тахир
Джаафар Ибрахим**

Баеро университет, г. Кано, Нигерия
старший преподаватель кафедры «Нефти-химии
и Нефтегазового дела»

Аннотация. В этой статье исследуется практический подход на месторождениях, который определяет предупреждающие сигналы о возможном прихвате трубы, возникающем из-за давлений вышележащих пород и тектонических напряжений во время бурения. Выделены первоначальные признаки того, что приводит к прихвату, и представлены современные упреждающие меры, которые регулируют параметры бурения чтобы ликвидировать этих инцидентов.

Ключевые слова: прихват бурильных труб, Горное давление, Плотность бурового раствора, Тектоническое напряжение, напряжение сдвига

Stuck pipe is a common unscheduled drilling problem that occurs routinely in drilling operations with various levels of severity. Increase in drilling activity and drilling in depleted and high risk reservoirs has increased the risk of stuck pipe events in all drilling operations. Minimizing these risks has been the goal of the drilling industry as its occurrence has a major impact on drilling efficiency resulting in significant increase in non-productive time and overall well cost. It is therefore of paramount importance to understand the various ways that a drill string can become stuck and factors that contribute to it becoming stuck and to establish best practices to minimize or prevent these problems. The earlier the risk of drill string becoming stuck in a well is predicted and mitigated, the better it will enhance the overall drilling performance, as this will result in significant operating time reductions and cost savings. In this paper, the mechanisms of stuck pipe due to overburden stress and tectonic stress are highlighted, the leading signs and symptoms are identified and techniques of diagnosing, remediating and preventing such incidents are proffered.

Stuck pipe due to aforementioned stresses are a result of tensile and compressive failure on the wellbore wall. The borehole will fail in tension while drilling mud hydrostatic pressure induces stresses in the open wellbore wall that exceeds the tensile strength of the rock. The wellbore will fail in compression when the pressure of the drilling mud is insufficient to keep the shear stresses in the borehole wall below the shear strength of the formation. Water in the mud absorbed by shale formation causes swelling effect on formations. When there is a lot of water, shale will not be able to hold their particles together and finally breaks apart and falls into the annulus. This will result in the wellbore to slough and cave or contract to jam the drill string and cause sticking. If these occur, it is important to understand the mechanisms and the different factors involved in order to carry out the appropriate actions for optimal prevention. The procedures taken based on initial diagnosis can be the deciding factor between the ability to free the pipe or losing the pipe and opting for a sidetrack, or costly abandonment of the well.

Overburden stress (σ_v) is considered as the stress arising from the weight of rock overlying the zone under consideration. The overburden gradient (stress/depth) varies from

field to field and increases with depth, owing to rock compaction. Overburden gradient is much higher in tectonically active areas, in highly faulted areas and in sedimentary basins, which are still undergoing compaction as compared to geologically relaxed areas having little tectonic activity. For a given field, accurate value of overburden gradient is obtained by averaging density logs from several wells drilled in the area. A graph of bulk density against depth is then plotted. This graph is converted to an overburden gradient – depth graph by the use of the relation:

$$\text{Overburden stress} = \text{bulk density} \times \text{depth} \times \text{acceleration due to gravity.}$$

In porous formations, the rock matrix stress, σ_s and the formation pore pressure, P_f support the overburden stress, σ_v jointly, thus: $\sigma_v = \sigma_s + P_f$ [1]

If a density log is not available, overburden stress may also be estimated from alternative methods that use variable density curves, time average equation, sonic travel time, bulk density and porosity [2].

Overburden stress increases over depth, therefore the more a well is drilled, more overburden stress will be encountered. As the overburden squeezes the rock vertically, it pushes horizontally, but is constrained by the surrounding rock to create horizontal stresses. When mud weight (MW) is not enough to support the overburden, the stress from the overburden will create shale fractures, which will fall down into the wellbore. Finally, the shale fractures will pack around the drill string in the wellbore and cause a stuck pipe incident [3, 5].

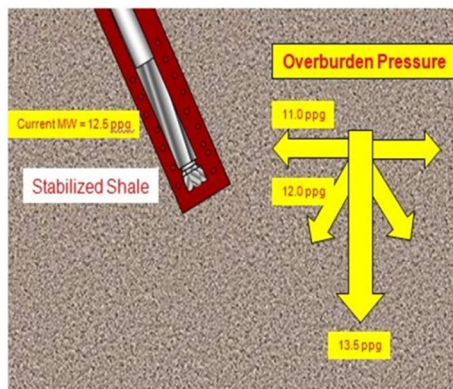


Figure 1 – MW > overburden stress

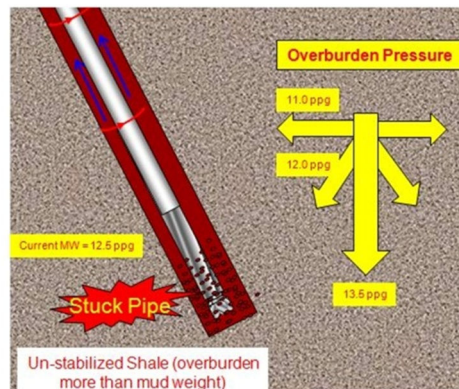


Figure 2 – MW < overburden stress

The indications of overburden can be recognize when there is an increase in torque and drag; increase in pump pressure or when there is an abnormal amount of shale with caving shape at the shale shaker screens. When it happens, the hole may be completely packed off or bridged off; therefore, circulation is very difficult or impossible to establish.

The preventive measures involve the use drilling mud that is heavy enough to stabilize the overburden stress; the mud may weighted up prior to drilling into stressed shale zones.

Mitigation techniques can be to circulate with low pressure (300–400 psi). A high pump pressure is not permissible because the annulus will be packed harder and make it impossible to free the pipe; when drilling or POOH, apply maximum allowable torque and jar down with maximum trip load; when RIH, jar up with maximum trip load without applying any torque. When pipe is free, circulate to clean the wellbore [3, 5].

Tectonic stress is a natural phenomenon that occurs due to lateral force from the formation. It builds up in areas where rock is being compressed or stretched due to the lateral movement of the earth's crust. Pressure of the moving tectonic plates deforms the rock in this area. When a well is drilled through sandstones in areas of high tectonic stress, lateral force will create stress, which will squeeze sandstones leading to under gauge hole. While drilling through shale the lateral stress will fracture shale and create additional splintery cuttings similar to those produced by over-pressured shales. These cuttings will collapse into the wellbore and pack around the drill string leading to stuck pipe situation [3, 4, 5].

Typically, there is a higher probability of encountering tectonic stresses if rig location is close to mountainous area and usually the hydrostatic pressure required to stabilize the wellbore may be much higher than the fracture pressure of the other exposed formations [3, 4].

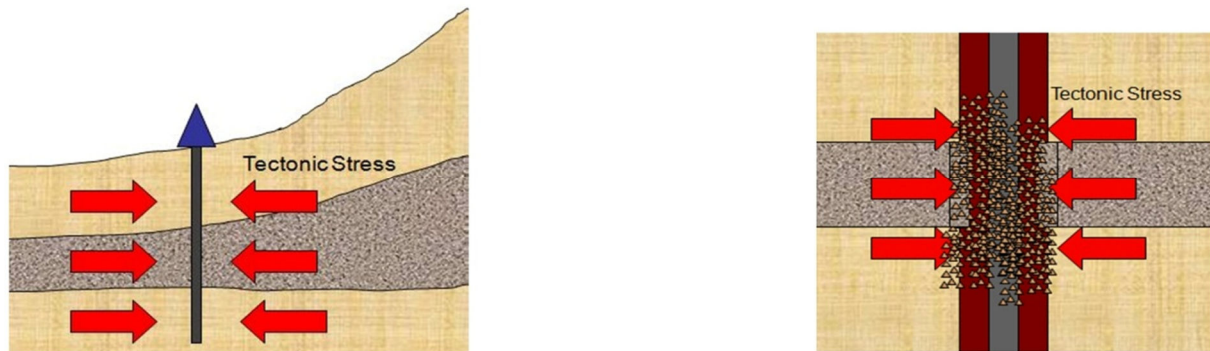


Figure 3 – Stuck Pipe due to tectonic stress

The indicative signs of this hazard include rig location near mountainous area; erratic drilling torque and abnormal drag; shale fractures are observed at shale shakers. When it happens, the hole may be completely packed off or bridged off; therefore, circulation is very difficult or impossible to establish.

Preventive measures will be increasing mud weight to improve wellbore stability; the use of high vis/weight sweep for hole cleaning and minimizing operational time. The less time spent in drilling and completing the well, the less tectonic stress affects the wellbore.

Mitigation techniques involve attempt to circulate with low pressure (300-400 psi). Higher pump rates are not recommended because they will cause more cutting accumulation around the drill string; when drilling or POOH, apply maximum allowable torque and jar down with maximum trip load; when tripping in hole, jar up with maximum trip load without applying any torque. When pipe is free, circulate to clean the wellbore [3, 5].

References:

1. Rabia H. Oilwell Drilling Engineering: Principles and Practice. 1st Edition. – Graham & Trotman. London, United Kingdom, 1985. – P. 173–174.
2. Peter A. Deepwater Drilling. 1st Edition. – 2018. – P. 17–68.
3. Saied E. Stuck Pipe Prevention Book. Kindle Edition. – 2012. – P. 85–88.
4. Godwin C.J.N. and Lotanna V.O. Wellbore Instability in Oil Well Drilling: A Review // International Journal of Engineering Research and Development. – May 2014. – Vol. 10. – Issue 5. – P. 11–20.
5. Awili B.O. Analysis of Stuck Pipe Incidents in Menengai Geothermal Field, Kenya // Proceedings of 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. – Stanford, California, USA, 13-15 02, 2017. – SGP-T212.

КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРОХОТОВ

**Майнингер
Валерия Алексеевна**

Уральский государственный горный университет
преподаватель среднего профессионального образования
maininger21@mail.ru

**Волков
Евгений Борисович**

Уральский государственный горный университет
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой технической механики
evgeniyvolkov@m.ursmu.ru

Аннотация. В статье приведено описание всех видов промышленных грохотов, проведен анализ их конструктивных и режимных параметров и представлена схема классификации современных промышленных грохотов с учетом этих параметров.

Ключевые слова: грохоты, колебания, параметры, достоинства, недостатки.

Процесс грохочения, как процесс разделения материала горных пород или частиц по классам крупности, является одним из главных и энергоемких процессов при подготовке твердых полезных ископаемых к обогащению. На ряду с этим грохочение является весьма распространенной операцией и широко применяется не только в обогатительном деле, но и в целом ряде других промышленных производств, например, в химической, строительной или медицинской сферах деятельности. Суть данного процесса довольно проста: куски материала, размер которых больше размера отверстий сита, остаются при просеивании на сите и называются надрешетным продуктом; куски материала меньших размеров, чем размер отверстий сита, проваливаются через отверстия и называются подрешетным продуктом. Продукты грохочения могут выделяться от крупного класса к мелкому, от мелкого класса к крупному или по комбинированной схеме [1].

Наиболее распространенными устройствами для разделения полезных ископаемых являются грохоты – машины (аппараты), состоящие из короба, рамы и сита или просеивающей поверхности [2].

Ввиду огромного конструктивного разнообразия грохотов, их применимости в различных сферах промышленности, как показало исследование, нет достаточно полной и однообразной классификации данных аппаратов. Поэтому целью данного исследования является попытка обобщения существующих грохотов с учетом современных подходов к их конструктивному исполнению, а также попытка дополнить и оптимизировать существующие классификации по множеству различных параметров [3].

Более детальное описание всех видов грохотов можно представить следующим образом:

По характеру поля колебания:

– с круговыми колебаниями, эллиптическими (инерционные наклонные грохота, угол установки 15–30°);

– с прямолинейными колебаниями (самобалансные, самосинхронизирующиеся грохота, угол установки 1–25°);

– со сложными объединёнными колебаниями (круговые + прямолинейные).

По характеру движения рабочего органа или способу перемещения материала:

– неподвижные грохоты (с неподвижной просеивающей поверхностью – колосниковые, дуговые, конические);

– частично подвижные грохоты (с движением отдельных элементов просеивающей поверхности – валковые, цепные с возбуждением колебаний гибкого сита и др.);

– вращающиеся грохоты (с вращательным движением просеивающейся поверхности – барабанные);

- плоские подвижные грохоты (с колебательным движением всей просеивающей поверхности – качающиеся, гирационные и вибрационные);
- гидравлические грохоты (грохоты с перемещением материала в струе воды или пульпы) [4].

По форме рабочей поверхности:

- плоские грохоты (неподвижные грохоты, частично подвижные грохоты, плоские подвижные грохоты, гидравлические грохоты);
- барабанные грохоты (вращающиеся грохоты);
- дуговые грохоты (гидравлические грохоты);
- круглые.

По расположению просеивающей поверхности:

- наклонные грохоты (в некоторых случаях вертикальные);
- горизонтальные грохоты (или слабонаклонные).

По конструктивному исполнению рабочего органа (вибратора):

- со встроенным вибратором(-ами);
- с накладным вибратором(-ами).

По конструктивному исполнению грохота:

- подвесные

В свою очередь подвижные грохоты конструктивно делятся на:

- дисковые;
- роликовые;
- колосниковые;
- цепные [5].

А также колосниковые грохоты подразделяются на:

- неподвижные колосниковые грохоты;
- подвижные колосниковые грохоты:
- консольные вибрирующие колосниковые;
- вибрационные колосниковые.

Рассмотрим подробнее виды грохотов, а также выявим их достоинства и недостатки.

Неподвижные грохоты используются очень редко, так как они имеют низкую производительность. Материал на такой грохот загружается из вагонеток, мелкие фракции проскакивают в отверстия между колосниками в грохоте, крупные скользят по нему, падая в дробилку (рис. 1). К положительным качествам неподвижных грохотов относится то, что они недороги, конструктивно просты, легки в обслуживании.

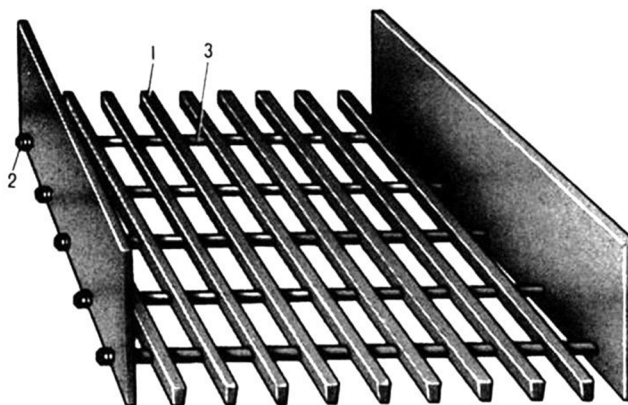


Рисунок 1 – Неподвижный колосниковый грохот: 1 – колосник; 2 – стяжной болт; 3 – распорная труба

Барабанные грохоты используются наиболее широко в современной индустрии. Грохот представляет собой установленный под наклоном барабан с поверхностью из сетки (рис. 2). Грохоты барабанной конструкции используют для разделения сыпучих тел более чем на два класса. В барабанных грохотах сортировка материала происходит хуже, чем на плоских грохотах (качающихся и вибрационных). Грохоты барабанного типа не следует использовать при сортировании мелких материалов. Из недостатков можно выделить: громоздкость конструкции; небольшую величину удельной

производительности; малую эффективность; большой расход грохота; шум и пылеобразование в режиме работы. Однако барабанные грохоты используют довольно широко, несмотря на выше названные недостатки, так как они довольно надёжны в работе. Однако, данный вид грохотов обладают следующими достоинствами: простотой своей механической конструкции и проведения обслуживания; равномерной работой системы; наличием возможности для неотложного технического обслуживания и чистки рабочей поверхности [6].

Цилиндрический барабанный грохот представляет собой открытый барабан, который может иметь многогранную, коническую или цилиндрическую форму. Для их производства используется сетка или перфорированные листы. Барабанные устройства устанавливаются под наклоном около 5° . По ходу материала отверстия для прохода нижнего продукта увеличиваются. В таких устройствах можно легко и быстро сменить каждое сито, что является немало важным преимуществом среди других видов грохотов. А также следует выделить такие достоинства как: равномерное вращение барабана; простоту конструкции, обслуживания и ремонта. Однако, обладая легкостью в использовании, данные виды грохотов имеют следующие недостатки: сита быстро забиваются; небольшая производительность; значительное пылеобразование и крошение материала; для изготовления такого оборудования требуется большое количество металла.

Данные недостатки не очень существенны, поэтому такое оборудование практически полностью вытеснило вибрационные и качающиеся грохоты.

Качающиеся грохоты также находят широкое применение в промышленности. Они представляют собой наклонные под углом сита, делающие колебательные движения благодаря кулачковому механизму (рис. 3).



Рисунок 2 – Барабанный грохот



Рисунок 3 – Качающийся грохот

Данный вид грохотов один из самых распространенных. Плоские качающиеся грохоты состоят из прямоугольного короба и сита, которому сообщается качение от движущегося механизма. При качении грохота материал перемещается по ситам. При этом верхний продукт сбрасывается, а нижний просеивается [5]. Достоинствами таких грохотов являются: компактность; удобство обслуживания и ремонта; высокая производительность; большая четкость грохочения; малое крошение металла. Среди недостатков следует выделить только неуравновешенность конструкции. Поэтому такое оборудование нельзя устанавливать на верхних этажах зданий.

Эксцентрикковые качающиеся грохоты. Такие грохоты оснащены двумя эксцентриками и противовесами. Короб с ситом крепится на подшипниках к валу. Такие устройства относятся к быстроходному типу, поэтому, как правило, их подвешивают на тросах с пружинами к потолочным балкам. Высокое качество сортировки, высокая производительность, равномерное движение короба – все это относится к достоинствам данного типа грохотов.

Грохоты колосниковые. Широкое применение нашли грохоты колосниковые в различных процессах производственного характера, где предусмотрен достаточно большой объем работ (рис. 4).

Благодаря своим возможностям можно запросто выполнить сортировку наиболее крупных элементов сырья, материалов [7]. Достоинствами колосниковых грохотов

выделяют: параметр размерности кусков устанавливается в пределах до 1200 миллиметров, что позволит запросто выполнить последующее измельчение материалов в зависимости от производственной необходимости; простота устройства и обслуживания; высокая выработка при минимальных затратах на выполнение обслуживания установленного технологического оборудования; минимальные энергетические затраты, что делает конструкцию также достаточно экономичной в сравнении с рядом прочих элементов оборудования. Недостаток – низкая эффективность грохочения, обычно не превышающая 50–60 %.

Дуговые грохоты. Предназначены для мокрого грохочения тонкого и мелкого материала крупностью от 0,1 до 2,5 мм. Для повышения эффективности грохочения некоторые конструкции дуговых грохотов снабжены ударными устройствами или вибраторами с частотой встряхивания сита 5–20 раз в минуту (рис. 5).

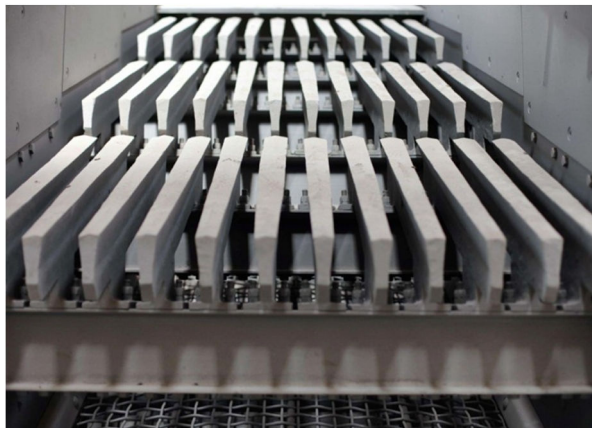


Рисунок 4 – Колосниковый подвижный грохот

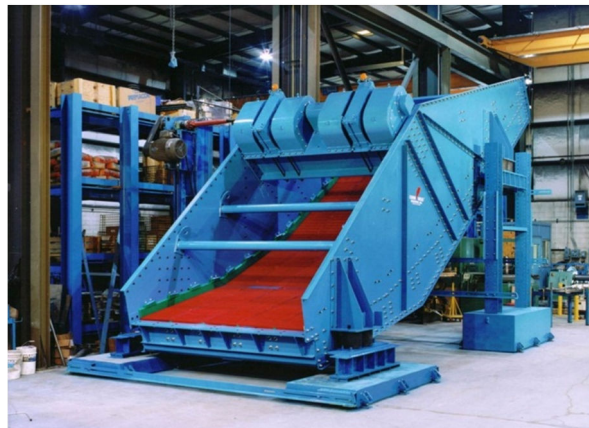


Рисунок 5 – Дуговой грохот

Среди достоинств данного вида грохотов такие, как: простота устройства; большая удельная производительность; высокая (до 90 %) эффективность грохочения при больших колебаниях содержания твердого в пульпе (от 7 до 70 %). Недостатком дуговых грохотов является быстрый износ сеток, особенно на абразивных пульпах.

Конические и цилиндрические грохоты по принципу действия аналогичны дуговым. Просеивающая поверхность выполнена из шпальтовых сит с размером щели 0,5–1,0 мм. Достоинствами таких грохотов следует выделить: довольно высокую удельную производительность за счет больших ускорений материала при грохочении; почти полное предотвращение забивания сит; возможность разделения по крупности влажного слипшегося материала. Недостатком грохотов является высокая нагрузка на сито и, следовательно, сильный износ ситовой поверхности.

Плоские гидравлические грохоты или гидрогрохоты, предназначены для грохочения в потоке пульпы измельченных рудных материалов и углей крупностью до 3 мм (на гидравлических ситах) и для мокрой классификации углей на машинные классы (рис. 6).

При тонком грохочении сито устанавливается под углом 45–55° к горизонту и обычно оборудовано ударным механизмом, чтобы исключить забивание отверстий сита. Эффективность грохочения при этом составляет 50–70 %.

Инерционные грохоты в подвесном и опорном исполнении совершают колебания под действием неуравновешенных масс дебалансов, устанавливаемых на валу. При вращении вала и дебалансов возникают центробежные силы инерции, в результате короб грохота, устанавливаемого под углом до 25° к горизонту, описывает эллиптическую траекторию (рис. 7).

Инерционные грохоты обоих типов отличаются простотой конструкции, надежностью в работе, высокой производительностью и эффективностью при грохочении различных типов минерального сырья крупностью обычно до 160 мм.

Когда возникает необходимость в сортировке сыпучих материалов, лучшим решением является применение грохота. Ни один дробильно-сортировочный комплекс, работающий в карьере, не обходится без данного вида оборудования. Растущие потребности металлургической отрасли России в рудных материалах, а также широкие масштабы дорожного строительства с возрастающим потреблением нерудных материалов, дают основание для прогнозов расширения использования грохотов в добывающей промышленности.



Рисунок 6 – Гидравлический грохот



Рисунок 7 – Инерционный грохот

Результатом данного исследования является разработка схемы классификации современных промышленных грохотов с учетом их конструктивных и режимных параметров (рис. 8).

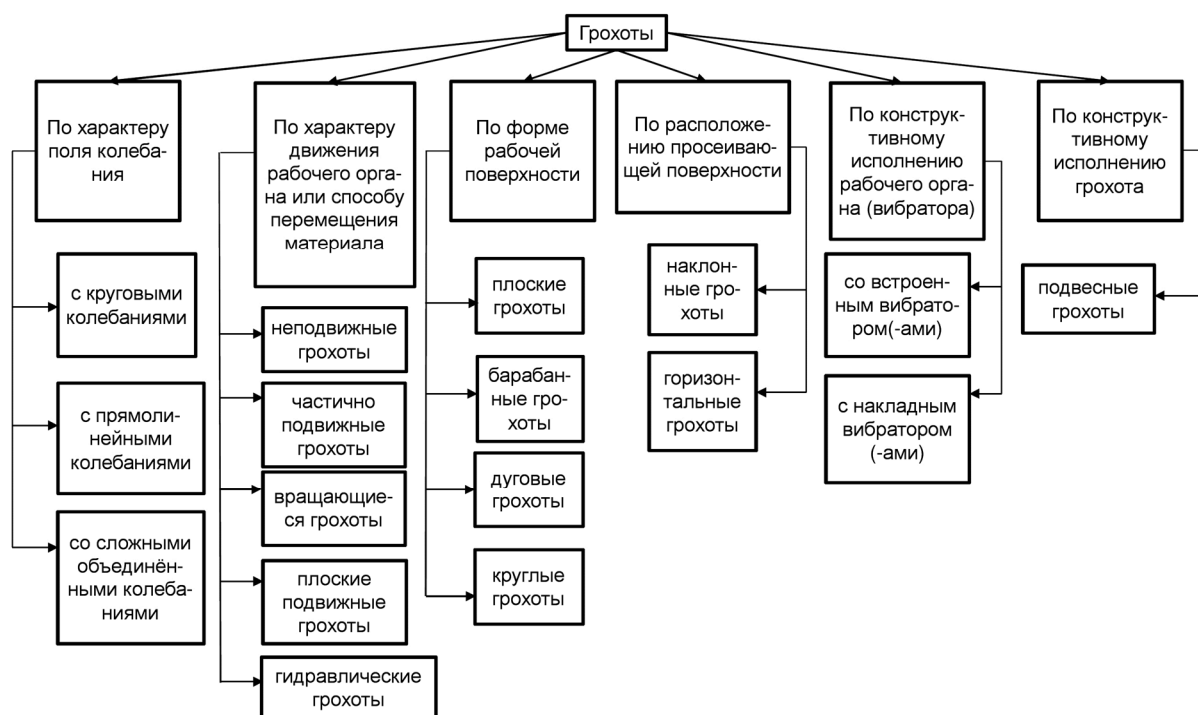


Рисунок 8 – Классификация грохотов

Список литературы:

1. Харламов В.С. Обогащение руд черных металлов / В.С. Харламов, В.П. Николаенко. – М. : Недра, 1965. – 239 с.
2. Олевский В.А. Кинематика грохотов / В.А. Олевский – Ч. I и II. – Л.-М. : ГНТИ, 1941. – 156 с.
3. Волков Е.Б., Илясова М.А. Классификация промышленных грохотов на основе анализа их конструктивных параметров // Материалы Международной конференции «Математическое моделирование механических явлений». – Екатеринбург : УГГУ, 2021. – С. 5–8.
4. <http://kanmash.ru/grohoty.html>
5. https://intech-gmbh.ru/screens/#principle_of_operation
6. <http://drobix.ru/grohoty-barabannye/>
7. <http://drobix.ru/grohoty-kolosnikovye/>

ВОПРОСЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И БОРЬБЫ С ПРИХВАТАМИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

**Мамаджанов
Эльзод Ульмасович**

Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина, филиал в г. Ташкенте
канд. техн. наук, старший преподаватель
elzod_m@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу причин возникновения дифференциальных прихватов колонн бурильных и обсадных труб в скважине в процессе ее строительства и определению основных путей, направленных на предупреждение и борьбу с ними.

В целях предупреждения прихватов бурильного инструмента обоснована необходимость оценки и регулирования смазочных свойств промывочных жидкостей и добавок к ним. Данные меры позволят значительно уменьшить вероятность таких серьезных осложнений как прихват бурильного инструмента при бурении скважин.

Ключевые слова: бурильный инструмента; прихват; трение; фильтрационная корка; смазочные свойства; промывочная жидкость; химическая обработка; полимерные реагенты; жидкости ванны.

Прихваты колонн труб в подавляющем большинстве случаев происходят за счет двух факторов: действия прилипания к стенке скважины и перепада давления (динамического пластового давления) вследствие неподвижного их положения в стволе скважины. Но, до сих пор нет единого понимания в приоритетности и степени влияния каждого фактора на данный процесс. Для уменьшения влияния первого фактора необходимо уменьшать силы трения между фильтрационной коркой и стальными трубами. В целях снижения адгезионных свойств фильтрационных корок в промывочную жидкость вводятся различные реагенты, обеспечивающие малую водоотдачу и толщину корки, поверхностно-активные вещества и смазывающие добавки, понижающие трение, которых разработано множество.

Анализом производственного материала установлено, что частота прихватов бурильного инструмента и колонн труб, а также эффективность его освобождения в значительной степени зависит от смазочных свойств промывочной жидкости, которые в свою очередь влияют на силы трения фильтрационной корки при взаимодействии ее с поверхностью труб.

Сравнительный анализ проведенных нами исследований показал существенные различия трибологических свойств у разных нефтей и эмульсий [1]. Проведенные исследования также выявили, что жидкости на основе различных водорастворимых полимерных реагентов заметно отличаются по своим противоизносным свойствам друг от друга, а некоторые типы водополимерных растворов сопоставимы по своим смазывающим способностям с активными нефтями. В связи с этим в целях предупреждения прихватов бурового инструмента необходимо уделять внимание выбору полимерных реагентов-стабилизаторов. Некоторые из них позволяют исключить в качестве смазывающих добавок в промывочные жидкости таких агентов как нефть, минеральные масла, ПАВы и другие. Данные мероприятия позволят существенно уменьшить вероятность таких осложнений как прихват бурильного инструмента вследствие снижения сил трения между трубами и стенками скважин.

Общепринятым способом борьбы с прихваченной колонной бурильных труб является установка нефтяных или кислотных ванн в зоне прихвата. Эффективность данного способа относительно низка и зависит от быстроты ее осуществления после случившегося прихвата. Малая эффективность во многом объясняется разностью плотно-

стей применяемых промывочных жидкостей в скважине и нефти, из-за чего происходит активная миграция легкого агента нефти из зоны прихвата вверх по стволу скважины. Количество прихватов ликвидированных с помощью нефтяной ванны, уменьшается с увеличением плотности промывочной жидкости. Зарубежные нефтяные компании отказались от нефтяных ванн и для борьбы с прихватами практикуют применение специальных разгрузочных жидкостей или «жидкостей ванн» (ЖВ) плотность которых можно подобрать с учетом условий в скважине [2]. ЖВ может использоваться в промывочной жидкости и как добавка для предотвращения дифференциальных прихватов инструмента.

Проблема борьбы с прихватами колонны труб рассматривается как две самостоятельные задачи: предупреждение и ликвидация. На возникновение прихватов в значительной степени влияют структурно-механические свойства фильтрационных корок с которыми соприкасается бурильный инструмент. Это адгезионная способность, сопротивление сдвигу, прочность, которые зависят от содержания твердой фазы в буровом растворе и ее состава, вида химической обработки и смазочной способности раствора. Фильтрационные корки должны быть тонкими, эластичными, мало или непроницаемыми, с минимальными силами адгезии и коэффициентом трения. Регулирование вышеуказанных свойств буровых растворов является действенной профилактической мерой для предотвращения возникновения прихватов.

Различными исследованиями показано, что адгезионные силы могут составлять 40–60 % от суммарных сил взаимодействия металла с коркой [3]. Поэтому, даже после полного снятия действия перепада давления (с целью ликвидации прихвата) к колонне бурильных труб необходимо приложить дополнительную силу сверх ее веса, чтобы преодолеть адгезионные силы.

Установлено, что наиболее прихватоопасным являются фильтрационные корки, сформированные из растворов с высокой водоотдачей, утяжеленных растворов. Прихватам, как правило, подвергается тяжелая часть низа бурильной колонны (КНБК). В общем случае при большой длине прихваченных труб одновременно реализуются усилия отрыва и сдвига, т.е. верхняя часть работает на отрыв, а нижняя на сдвиг. Таким образом, чтобы полней судить о силе прихвата необходимо оценивать обе его составляющие: усилие на отрыв и усилие на сдвиг.

Многочисленными исследованиями установлено, что на силу прихвата большое влияние оказывает время формирования фильтрационной корки. Силы прихвата наиболее интенсивны в первые минуты контакта, когда фильтрационная корка только начинает отлагаться под перепадом давления на проницаемых стенках скважины. Эти первые минуты сопровождаются повышенной фильтрацией, а сама корка еще рыхлая и проницаемая. С увеличением времени прихвата усилия, необходимые для сдвига и отрыва металлической поверхности труб возрастают, причем более интенсивнее возрастают усилия на сдвиг, т.е. силы трения.

Современные представления о механизме действия жидкостей при установках ванн разнообразны и противоречивы. Согласно данным исследователей [4], в фильтрационной корке после ее контакта с нефтепродуктами появляются трещины. Через микротрещины нефтепродукты из затрубного пространства проникают в приствольную зону, и вследствие этого давление в скважине и пласте выравнивается, что является определяющим фактором освобождения прихваченных труб. В корке в связи с появлением жидкости, отличной по физико-химическим свойствам от фильтрата, начинают действовать капиллярные силы. В результате совместного действия этих сил и перепада давления между скважиной и пластом в фильтрационной корке появляются микротрещины. Более низкое гидростатическое давление, образование микротрещин вследствие деформационных процессов и действия капиллярных сил способствуют фильтрации нефти в пласт [5], уменьшению дифференциального давления и соответственно силы прихвата.

Фактор, определяющий активность воздействия жидких сред при установке ванн на ослабление сил прихвата – присутствие в этих жидкостях ПАВ, гидрофобизирующих и флокулирующих частицы твердой фазы фильтрационной корки и уменьшающих силы сцепления между ними.

Установка ванн, несмотря на высокую эффективность, в ряде случаев, особенно при бурении на больших глубинах, оказывается безрезультатной вследствие неприятия мер, предупреждающих самопроизвольное вертикальное перемещение агента ванны из зоны прихвата и его смешение с буровой промывочной жидкостью в скважине. В этом случае необходимо приводить плотность жидкости ванны в соответствие с находящейся в скважине промывочной жидкостью. В случае невозможности, а также в качестве дополнительных мер препятствующих смешению их необходимо применение буферной жидкости.

На основе проделанных исследований сделаны некоторые важные выводы:

1. Для уменьшения влияния сил прилипания металла к корке необходимо уменьшать коэффициент трения между средами. С целью снижения адгезионных и трибологических свойств фильтрационных корок в буровой раствор следует вводить активные химические реагенты и добавки, способствующие улучшению смазывающих его свойств.

2. Для предупреждения прихвата в качестве стабилизирующих реагентов промывочных жидкостей следует применять наиболее интенсивно понижающие их фильтрацию, вследствие чего на стенках скважины формируется тонкая и плотная фильтрационная корка. За счет этого площадь контакта труба – фильтрационная корка будет кратно меньше чем у промывочной жидкости, имеющей большее значение водоотдачи.

Список литературы:

1. Мамаджанов Э.У. Смазывающие свойства различных нефтей Узбекистана // журнал « Нефть ва газ». – 1998. – № 3.
2. Петров Н.А., Попов А.Н., Давыдова И.Н. Исследование зарубежных лубрикантов и эмульгаторов в качестве смазочных добавок промывочных растворов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 5. – URL : <http://www.ogbus.ru>
3. Иванников В.И. Прихваты бурильного инструмента в скважинах // НТЖ «Строительство скважин». – 1996. – № 1–2.
4. Сеид-Рза М.К. Причины прихватов бурильного инструмента, способы их предупреждения и ликвидации. – Баку : АзГИ, 1975.
5. Самотой А.К. Прихваты колонны при бурении скважин. – М. : Недра, 1984.

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ РАЗРУШЕНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

**Мамедов
Рамиль Мухтар ог.**

**Азербайджанский Государственный
Университет Нефти и Промышленности**
докторант, преподаватель
кафедры «Нефтегазовая инженерия»
oilman25@mail.ru

**Султанова
Арзу Вагиф г.**

**Азербайджанский Государственный
Университет Нефти и Промышленности**
докторант, преподаватель
кафедры «Нефтегазовая инженерия»
arzu-sultanova@rambler.ru

Аннотация. Физическая причина действия песчаной пробки заключается в том, что вследствие малого сечения ствола скважины, находящаяся над кровлей продуктивного горизонта песчаная пробка действует как забойный штуцер, который создает значительные сопротивления на пути восходящего потока. Следует отметить важность раннего диагностирования начала разрушения призабойной зоны и перехода скважин в категорию пескопроявляющих. От обоснованности и оперативности такого контроля зависит эффективность выбора мероприятий по борьбе с осложнениями в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: призабойная зона, вынос песка, динамическая система, точка равновесия, устойчивость равновесия, элементарная катастрофа.

Своевременное и верное диагностирование начавшегося разрушения призабойной зоны весьма важно: оно позволяет учесть возможности осложнений при выборе режимов дальнейшей эксплуатации, запланировать необходимое профилактическое мероприятие и прочее. В то же время, в начальный период разрушения, его влияние на работу скважин незначительно и уловить его с помощью традиционных методов исследований не удастся. Как правило, лишь, когда процесс выноса песка прогрессирует и достаточно ощутимо сказывается на работе скважины, делается вывод о возможности осложнений, предотвратить которые, становится намного труднее [2, 6].

Методика раннего диагностирования начала разрушения призабойной зоны может быть предложена исходя из следующего. Начало разрушения соответствует началу качественно нового состояния системы «пласт – скважина». Диагностирование этого качественного скачка и смены характеров режима работы скважины по колебаниям ее производительности позволило бы сделать вывод о начале разрушения призабойной зоны.

Данная задача может быть решена на основе применения теории катастроф [1, 3].

Рассматривается динамическая система, то есть определенный процесс, непрерывно изменяющийся во времени. Поведение системы моделируется путем задания n -мерном пространстве траектории точки $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$, представляющей положение системы в момент t . Очевидно, если $x(t)$ остается в неизменном положении при всех t , то система находится в равновесии по отношению к величинам x_i .

Эволюция системы может быть задана и в виде системы дифференциальных уравнений. В этом случае положению равновесия системы соответствует равенство нулю при всех t $\dot{x}[t]$.

Для описания динамической системы в пространстве координат $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ вводится некоторая гладкая функция V такая, что точки равновесия системы совпадают с критическими точками (минимумами) V , то есть с точками, где

$$\frac{dV}{dx_1} = \frac{dV}{dx_2} = \dots = \frac{dV}{dx_n} = 0.$$

Вдали от положений равновесия функция $V(x(t))$ убывает с ростом t .

Приведенная модель соответствует динамическим системам с неизменными свойствами. В более общем случае, система, и, соответственно, функция V могут зависеть от ряда параметров C_1, C_2, \dots, C_k , реально это соответствует случаям, когда есть возможность физически управлять системой и менять ее свойства. Иными словами, при некоторых значениях может иметься один минимум функции V (устойчивое равновесие), при других C – несколько минимумов (неустойчивое равновесие). В последнем случае возникает возможность выбора между различными состояниями равновесия и поведение параметризованной системы будет подвергаться внезапному скачку с одного равновесного состояния в другое.

Общий вид задачи формулируется следующим образом. Пусть V – любая гладкая функция n переменных $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, содержащая k параметров (C_1, C_2, \dots, C_k) . В пространстве управления $C = (C_1, C_2, \dots, C_k)$ определим множество катастроф k , для которых V_c , как функция $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ имеет несколько сливающихся точек. При $n=1$ указанное означает, что k представляет собой множество точек C таких, что V_c' и V_c'' одновременно принимают нулевое значение в некоторых x .

При $n > 1$ k – множество таких C , что все частные производные $\frac{\partial V_c}{\partial x_1}, \frac{\partial V_c}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial V_c}{\partial x_n}$, а

также определитель, состоящий из вторых производных $\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 V_c}{\partial x_1 \partial x_2}, \dots, \frac{\partial^2 V_c}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \dots \\ \frac{\partial^2 V_c}{\partial x_n \partial x_1}, \dots, \frac{\partial^2 V_c}{\partial x_n \partial x_n} \end{vmatrix}$ одновременно

обращаются в нуль при некоторых значениях $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. Отсюда можно получить уравнение для k , содержащее параметры (C_1, C_2, \dots, C_k) .

Таким образом, изменение производительности скважины (накопленные значения) может рассматриваться как кривая роста с насыщением и описываться дифференциальным уравнением следующего вида:

$$\square \quad x = ax^2 + bx + c, \quad (1)$$

где x принимается равным $Q(t)$.

Потенциальная функция для уравнения (1) имеет вид:

$$V(x) = \frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 + cx. \quad (2)$$

А критическая область находится согласно следующим условиям:

$$\frac{dV}{dx} = 0, \quad \frac{d^2V}{dx^2} = 0. \quad (3)$$

Или

$$\begin{cases} ax^2 + bx + c = 0 \\ ax + b = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Исключая x из (4) получим выражение для критической области (детерминант) $b^2 - 4ac = 0$. Если сочетание управляющих параметров a, b, c , обеспечивает выполнение условия $D < 0$, то система будет находиться в неустойчивом положении.

$D > 0$ – система в устойчивом положении равновесия.

Расчёты проводятся по следующей схеме:

1-й шаг: Вводится общее количество точек N и значения $x_i = Q_i$ ($i = 1, \dots, N$).

2-й шаг: рассчитываются значения $x_i = (Q_{i+1} - Q_i) \frac{1}{h}$, где h – шаг, с которым изменяются значения $Q_i(t)$.

3-й шаг: Задаются начальным номером N_1 экспериментальной точки, начиная с которой производятся вычисления с шагом изменения h .

4-й шаг: Определяется интервал расчета $m = N_1 + h - 1$

5-й шаг: Рассчитываются значения a, b, c , для чего в уравнение (2) приводится к виду:

$$\begin{aligned} a \sum_{i=N_1}^m x_i^4 + b \sum_{i=N_1}^m x_i^3 + c \sum_{i=N_1}^m x_i^2 &= \sum_{i=N_1}^m x_i^2 x \\ a \sum_{i=N_1}^m x_i^3 + b \sum_{i=N_1}^m x_i^2 + c \sum_{i=N_1}^m x_i &= \sum_{i=N_1}^m x_i x \\ a \sum_{i=N_1}^m x_i^2 + b \sum_{i=N_1}^m x_i + c(m-n+1) &= \sum_{i=N_1}^m x \end{aligned} \quad (5)$$

6-й шаг: Рассчитываются значения $4ac$ и b^2

7-й шаг: Если $4ac < b^2$, то увеличивается интервал расчета $m_1 = m + 1$. Если $m \leq N$, то следует перейти к 5-му шагу, а если $m \geq N$, то к 8-му. Если $4ac > b^2$, то выводятся значения a, b, c при $m_1 = m - 1$. При этом производится присвоение m_1 значению N и переход к 4-му шагу.

8-й шаг: Конец пересчета.

Расчеты ведутся до момента изменения знака детерминанта, что соответствует скачку параметров потенциальной функции через критическую зону, свидетельствующем о качественном изменении поведения системы [4, 5]. Отметим, что данный аппарат уже нашел применение при решении некоторых задач бурения и нефтедобычи [2].

В качестве исходного материала использовались данные эксплуатации скважин 1, 2, 3 (номера указаны условно) площади «Х» и скважины 4 площади «У». В таблице 1 приведены геолого-технические характеристики указанных скважин.

Таблица 1 – Геолого-технические показатели исследуемых скважин

№ скважины	Горизонт	Фильтр, м.	Забой, м.	Средний дебит до регистрации песка $Q \times 1.16 \times 10^{-5}$, м ³ /с
1	ПК ₅	2597-2595	2607	220
2	ПК ₅	2589-2586	2594	215
3	ПК ₅	2607-2600	2611	210
4	VI _b	2108-2080	2140	65

На рисунках 1 и 2 показана динамика производительностей этих скважин (средние значения дебитов за 5 дней) с начала эксплуатации до первой остановки, связанной с пробкообразованием. Указаны также моменты первой регистрации песка в продукции скважин.

Как показали расчеты согласно теории катастроф, в скважине 1 уже за 35 суток до появления песка в продукции и за 320 суток до полной остановки скважины наблюдается «катастрофа», соответствующая началу разрушения призабойной зоны. По скважине 2 начало размыва призабойной зоны диагностируется за 70 суток до появления песка на устье и за 325 суток до остановки на ремонт. В скважине 3 этот момент фиксируется также задолго – за 60 суток до регистрации песка в продукции и за 215 суток до остановки на проведение промывки песчаной пробки, а по скважине 4 – за 75 суток до регистрации песка и за 470 суток до первой промывки песчаной пробки.

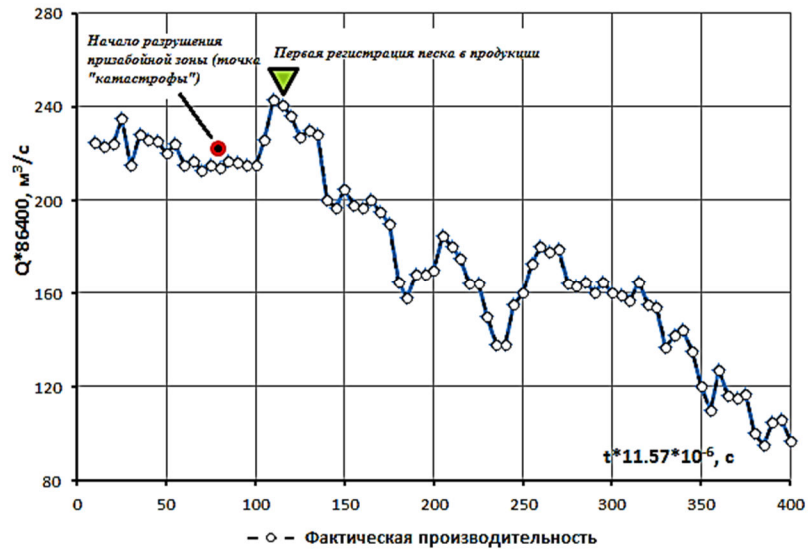


Рисунок 1 – Динамика фактической производительности по жидкости скважины 1 (Объект «Х»)

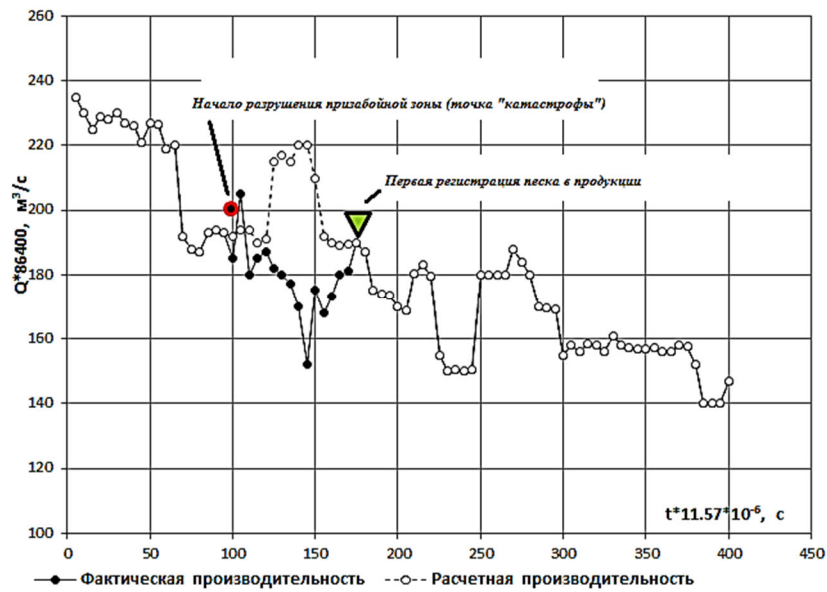


Рисунок 2 – Динамика фактической и расчетной производительности по жидкости скважины 2 (Объект «Х»)



Рисунок 3 – Динамика фактической и расчетной производительности по жидкости скважины 3 (Объект «Х»)

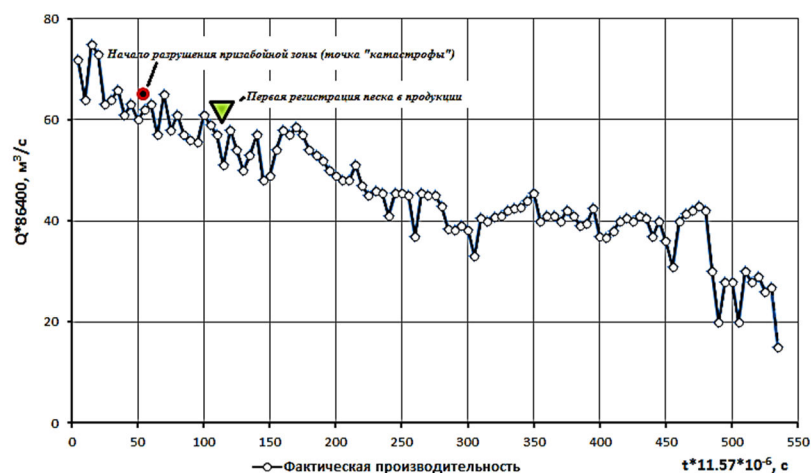


Рисунок 4 – Динамика фактической производительности по жидкости скважины 4 (Объект «У»)

Отметим, что после первой «катастрофы» за период до полного разрушения и остановки скважин в динамике производительности рассматриваемых скважин наблюдается наличие еще нескольких качественных изменений. Этот факт согласуется с механизмом разрушения призабойной зоны, в процессе которого происходит чередование роста и падения проницаемости пород коллектора, и, соответственно, подачи скважин.

Решение задачи производилось посредством реализации эксперимента, заключающегося в следующем: в точке, которая соответствует «катастрофе» изменялось с определенным шагом значение производительности с одновременным расчетом коэффициентов a, b, c моделей и детерминанта D . Значение производительности изменялось до тех пор, пока не достигался переход через критическую область, то есть до тех пор, пока знак детерминанта не менялся на противоположный. Далее, согласно аналогичной схеме, подбирались последующие значения производительности [3].

Выводы

Изложенное позволяет заключить возможность использования аппарата теории катастроф для диагностирования начала размыва пород призабойной зоны.

Указанный аппарат позволяет решить вопрос выявления характера изменения производительности, при котором отмеченные качественные изменения («катастрофы») не происходят.

Условием сохранения стабильности роста накопленной добычи являются меньшие отборы. Для скважины 2 уменьшение составляет от $202 \cdot 11.57 \cdot 10^{-6}$ до $175 \cdot 11.57 \cdot 10^{-6}$ м³/с, то есть примерно 14 %, а для скважины 3 – от $199 \cdot 11.57 \cdot 10^{-6}$ до $174 \cdot 11.57 \cdot 10^{-6}$ м³/с, то есть около 14 %. Данный вывод хорошо согласуется с показателями нескольких близлежащих скважин с того же объекта.

Список литературы:

1. Мирзаджанзаде А.Х., Степанова Г.С. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа. – М.: «Недра», 1977. – 228 с.
2. Фрагменты разработки морских нефтегазовых месторождений / А.Х. Мирзаджанзаде [и др.]. – Баку: издательство «Елм», 1997. – 408 с.
3. Мирзаджанзаде А.Х.. Принятие решений в нефтедобыче / Изд. ЦПНТО нефтяной и газовой промышленности им. Губкина. – М.: Миннефтепром СССР, 1986. – 40 с.
4. Jensen J.L., Lake L.W., Corbett P.W.M., Goggin D.J. Statistics for petroleum engineers and geoscientists. – Amsterdam: Elsevier, 2000. – 338 p.
5. Navidi W. Statistics for Engineers and Scientists. – NY: McGraw-Hill, 2011. – 908 p.
6. Михайлов Н.Н. «Информационно-технологическая геодинамика околоскважинных зон». – М.: «Недра», 1996. – 339 с.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ

**Мамедова
Евгения Владимировна**

**Азербайджанский Государственный университет
нефти и промышленности**
доктор философии по технике,
доцент кафедры «Нефтегазовая инженерия»
jenya_baku@mail.ru

Аннотация. В последнее время в нефтедобывающих странах одной из составляющей сырьевой базы углеводородной отрасли являются запасы высоковязких тяжелых нефтей (ТН), а также природных битумов (ПБ). По разным оценочным сведениям объемы этих полезных ископаемых варьируется в пределах от 790 млрд т. до 1 трлн. т., что, в свою очередь, в 5–6 раз больше запасов обычных ньютоновских нефтей. Возникла необходимость проведения исследований по поиску и выбору наиболее эффективных технологий разработки месторождений трудноизвлекаемых нефтей.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, добыча, коэффициент извлечения, инновационные технологии.

Введение

На территории Азербайджана залежи тяжелых нефтей сосредоточены на месторождениях Мурадханлы, Каламаское, «Грязевая сопка» и др. Результаты исследований, проводимых на данных месторождениях, показали низкую проницаемости коллекторов ($< 0,01 \text{ мкм}^2$), высокие значения вязкости пластовой нефти ($\mu > 10 \text{ мПа} \cdot \text{с}$), что приводит к низким темпам разработки и конечным коэффициентам нефтеотдачи [1]. Невысокие темпы разработки по всем объектам приводят к низким дебитам нефти (в среднем от 0,3 т/сут.).

По причине плохой текучести углеводорода возникают сложности в процессе его добычи, транспортировки и переработки. Высокая вязкость не позволяет отбирать большие объемы даже при значительных «пассивных запасах». Поэтому, остаточные запасы аномальных нефтей невозможно извлечь традиционными методами, и добыча их влечет к применению специальных дорогостоящих технологий, а так же инновационных подходов.

На этапе выбора наиболее эффективного метода повышения нефтеотдачи необходимо принимать во внимание формы залегания остаточной нефти в пласте. В зависимости от многообразия форм залегания пластовых флюидов, с учетом реологических свойств нефтей и проницаемости породы, невозможно применение единого универсального метода увеличения КИН.

Только на основании проведения комплексных исследований, включающих численное моделирование и технико-экономический анализ можно обоснованно выбрать эффективный метод.

Методика исследования

В зависимости от технологических и экономических характеристик применяют различные способы разработки залежей тяжелых нефтей. Применение того или иного способа обуславливается как физико-химическими свойствами пластового флюида и объемами его запасов, так и геологическим строением и условиями залегания пластов. Основные методы можно разделить на три класса:

- карьерный или шахтный;
- «холодные» способы добычи;
- тепловые методы добычи.

Основная часть (90 %) мировых запасов высоковязких нефтей и битумов, залегающих в Венесуэле (пояс Ориноко) и Канаде (провинция Альберта) добываются первым способом.

Как правило, природные битумы залегают на небольшой глубине 100–160 м, самое глубокое месторождение «Пис Ривер» (Канада) до 700 м. По причине неглубокого залегания эти углеводороды можно разрабатывать как открытым, так и подземным методами.

Технология добычи открытым способом проста и заключается в выработке (выемки) ценной породы землеройными машинами и транспортировке для переработки. Данный метод требует небольших капитальных и эксплуатационных расходов, и коэффициент нефтеотдачи достаточно высок и достигает 65–85 % [2].

При использовании «холодных» способов добычи тяжелой нефти наиболее часто используют метод «CHOPS» и «VAPEX».

Широкое распространение на промыслах Канады, Казахстана, Венесуэлы и Китая получил метод – «CHOPS» (Cold Heavy Oil Production With Sand). Технология данного метода заключается в раздроблении породы пласта, создания условия для применения винтовых насосов или другого оборудования для поднятия смеси (порода и нефть) на поверхность [3].

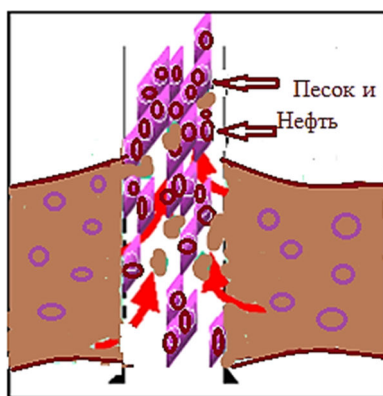


Рисунок 1 – Схема добычи тяжелой нефти методом «CHOPS»

Эффективность метода применения добычи с выносом песка на месторождении Каражанбас (Казахстан) [4] проиллюстрирована на рисунке 2.

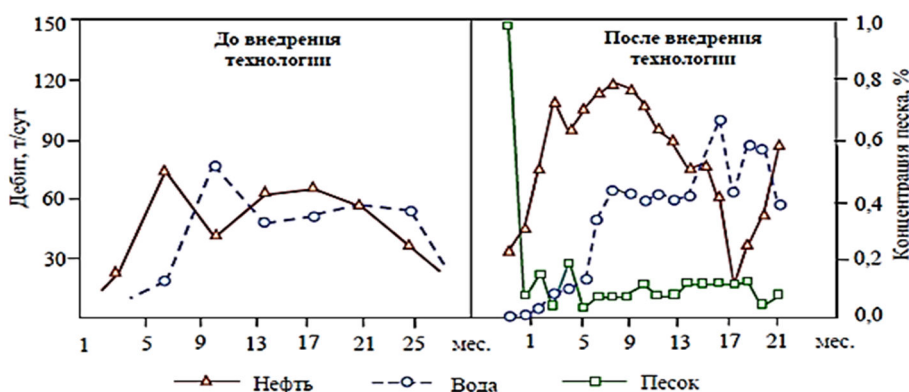


Рисунок 2 – Показатели до и после применения технологии

Из рисунка видно, что приток воды не влияет на повышение извлечения нефти. Анализ месторождений, применяемых CHOPS, проведенный канадскими исследователями показал, что дебиты скважин увеличились до 20 раз (хотя не все скважины являются рентабельными).

После проведения данного метода рекомендуется использовать в мощных участках тепловой гравитационный дренаж, а в маломощных – закачку воды или полимерный раствор.

Метод «VAPEX» (Vapour Extraction) один из модификаций SAGD, основан на применении двух горизонтальных скважин. Данная технология находится на стадии

испытания нефтяными компаниями Канады. Закаченный в верхнюю скважину растворитель (этан или пропан) создает камеру-растворитель, разжижает твердый углеводород, который под действием гравитации стекает по границам камеры в нижнюю добывающую скважину. К достоинствам способа относятся низкие энергозатраты, коэффициент извлечения нефти превышает 60 %. Однако, темпы добычи невелики.

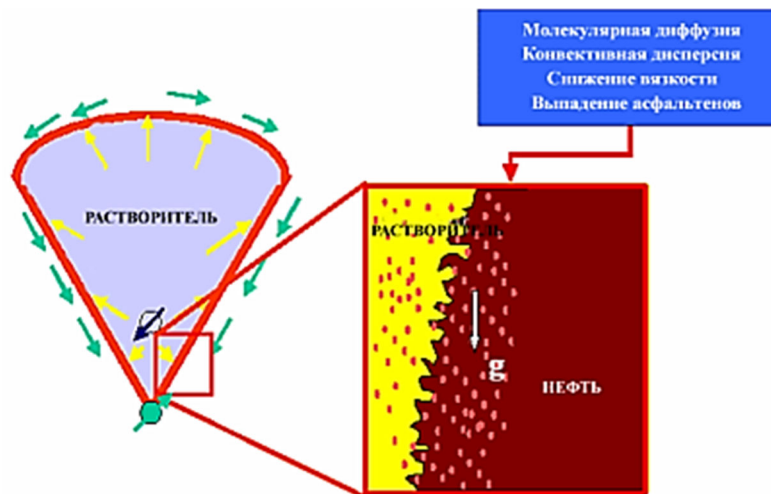


Рисунок 3 – Схема добычи тяжелой нефти методом «VAPEX»

В конце прошлого века в Канаде (Cold Lake Orion) , Венесуэле (Orinoco Belt), Республика Татарстан (Ашальчинское) была разработана и успешно внедрена тепловая технология SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage. Технология предусматривает бурение двух горизонтальных скважин длиной до 1000м, расположенных по вертикали на расстоянии 5 м [5]. Процесс нагнетания пара в оба ствола одновременно приводит к разогреву пласта.

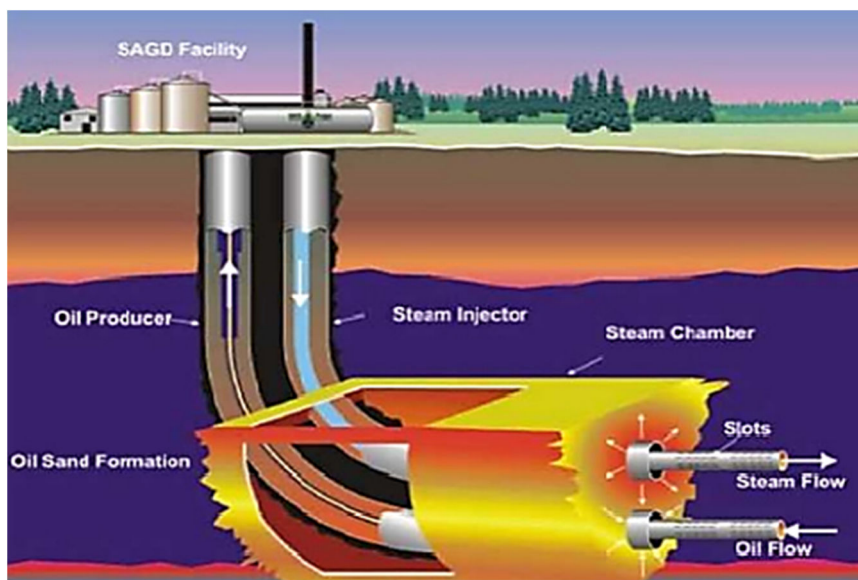


Рисунок 4 – Тепловой метод SAGD

Затем пар поступает только в верхнюю скважину, в результате происходит процесс теплообмена, пар конденсируется, и вода вместе с нефтью стекает в нижнюю скважину (рис.4). Паровая камера поднимается вверх, достигнув кровли пласта, она начинает распространяться в стороны. Нефть и паровая камера постоянно находятся в контакте, поэтому потери тепла минимальны.

К недостаткам технологии SAGD относятся высокие энергозатраты, разделение нефти и воды, необходим однородный пласт большой мощности. Применение данного

теплого метода позволяет повысить коэффициент извлечения нефти до 60 %, для сравнения пароциклическая обработка скважины повышает КИН только на 10 %.

Выводы

В статье рассмотрен актуальный вопрос – повышение коэффициента извлечения высоковязкой нефти и битумов, в случае, когда остаточные запасы нефти невозможно извлечь традиционными методами.

Добыча тяжелых углеводородов требует применения нетрадиционного подхода. В статье проанализированы инновационные методы («CHOPS», «VAPEX» SAGD), применяемые в мировой практике на месторождениях нефтей со сверхвязкими свойствами. Результаты проведенного обзора, позволят принять верное решение при выборе наиболее подходящего метода увеличения КИН для определенных условий нефтяных месторождений Азербайджана.

Список литературы:

1. Сулейманова В.М., Ширинов А.Т. Пути повышения эффективности доработки залежей нефти Западного Апшерона // Молодой ученый. – 2014. – № 18. – С. 198–201.
2. Сунгатуллин Р.Х. Хасанов Р.Р. Геоэкологические риски при освоении нетрадиционных энергетических ресурсов. – 2014. – С. 488.
3. Николин И.В. Методы разработки тяжелых нефтей и природных битумов // Наука – фундамент решения технологических проблем развития России. – 2007. – № 2. – С. 61–63.
4. Калешева Г.Е. Развитие технологии добычи высоковязкой нефти на месторождении Каражанбас // Молодой ученый. – 2015. – № 9 (89). – С. 446–451.
5. Метод парогравитационного дренажа (SAGD). – URL : <http://vseonefti.ru/upstream/sagd.html>

ON THE ISSUE OF STUDYING RESERVOIR AND WELL PERFORMANCE

**Мустафаев
Абидин
Абдулвагабович
Abidin A. Mustafayev**

Azerbaijan State Oil and Industry University
PhD, Assistant Professor
«Oil and Gas Engineering» Department
petrotech@asoiu.az

**Мамедбеков
Гусейнага Фарид оглы
Huseynagha
F. Mammadbayov**

Azerbaijan State Oil and Industry University
Master student,
«Oil and Gas Engineering» Department
Huseynagha.mammadbayov@gmail.com

Аннотация. Establishing optimal oil selection in production wells is the basis of energy-saving technology for the development of oil and gas fields.

To achieve optimal flow rate, a detailed study of the hydromechanical flow along the entire length of the well, starting from the bottom (at the point of contact with the productive formation) to the wellhead, is necessary.

Production optimization is not based on maximum hydrocarbon production, but on maximum return on investment.

The pressure at the bottom of the well is determined by losses in the components of the oil and gas production system: in the porous medium, starting from the boundaries of the drainage zone; completion areas (perforations, gravel pack, stimulation zone); tubing pipes with a safety valve and fitting; artificial lift system (pump, gas lift valves); pipeline from the mouth to the first level separator.

Ключевые слова: drainage, well, reservoir, productivity, modeling, inflow, permeability.

Integrated development modeling is an application of the well-known and used nodal analysis of the production system [6, 7]. It is known to be used both for individual wells and for more complex systems. The essence of the method is that, regardless of the location of the node, two boundary conditions must be satisfied: the flows – inlet and outlet – must be equal, and the same pressure must act on the node. Pressure and flow curves are plotted for the two indicated flows. The point of intersection of these curves represents the solution to the problem. Therefore, complex modeling occupies an important place in the process of solving optimization problems in real time.

Reservoir productivity is defined as the flow rate of oil or gas obtained from the reservoir at a certain bottomhole pressure.

The obvious reason for testing wells is to determine the flow rate for a given backpressure exerted at the wellhead. The IPR (Inflow Performance Relation) expression is used to determine the relationship between oil flow rate in surface conditions and bottomhole pressure. The bottom hole pressure used in the IPR and backpressure equations is usually taken at the mid-perforation level [1].

A linear IPR relationship can be found using Darcy's law and assumptions for rock and fluid properties. The productivity coefficient shows that the ratio of flow rate to pressure drop always remains constant:

$$J = \frac{q_{o1}}{p_R - p_{wf1}} = \frac{q_{o2}}{p_R - p_{wf2}} = \dots = \frac{q_o}{p_R - p_{wf}}, \quad (1)$$

where p_R is an average reservoir pressure. The measuring unit of J is STB/D/psi.

The linear IPR relationship is used only for unsaturated oil. The inflow line can be determined based on two measurements:

- 1) established bottomhole pressure when closing the well (reservoir pressure);
- 2) bottomhole pressure at a certain flow rate.

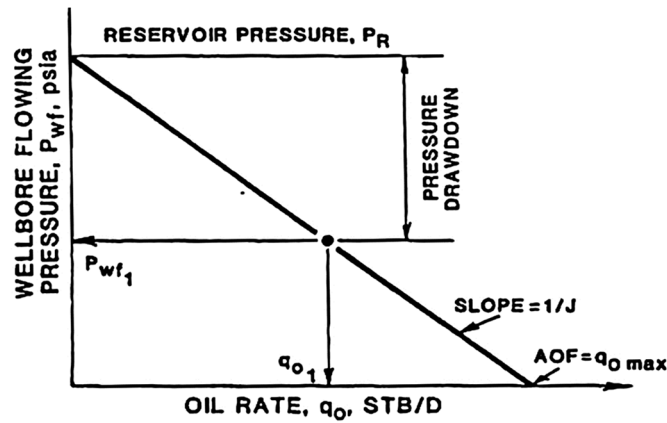


Figure 1 – Linear IPR dependency

Reservoir performance depends on several factors, including:

- Reservoir pressure.
- Reservoir thickness and permeability.
- Type of tank boundary and distance to it.
- Wellbore radius.
- Properties of formation fluids.
- Bottomhole conditions.
- Relative fluid permeabilities.

Reservoir performance can be mathematically modeled based on unsteady, steady and pseudo-steady flow regimes.

The inflow potential can then be calculated at any pressure drop.

It is important to note that the concept of constant inflow characteristic and productivity coefficient assumes a pseudo-steady state (PSS) condition. PSS represents conditions where the entire volume of the drainage zone is conducive to fluid influx [2].

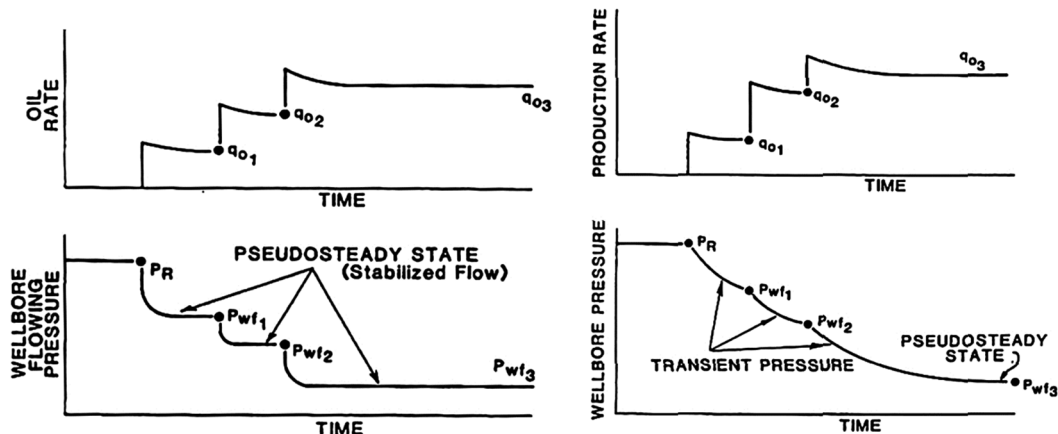


Figure 2 – Pseudo-stationary response of a well, studied at different flow rates (A – instantaneous, B – late)

Figure 2A shows well behavior during testing of a highly permeable formation at various flow rates.

The time until PSS conditions are reached is usually referred to as infinite flow, indicating that the well is supposedly in an infinite formation. Rice. 2B shows the change in pressure during the test at different rates of a well exploiting a low-permeable formation [5].

Below the saturation pressure, the gas released from the oil becomes free. Free gas takes up some pore space, which reduces the flow of oil. This effect is quantified by the reduced relative permeability. At the same time, the viscosity of the oil increases, because the amount of gas dissolved in it decreases. The combination of these effects leads to a decrease in flow rate at a given bottomhole pressure.

The graphs show the dependence of bottomhole pressure curves on fluid flow rate. For these graphs, an analysis of the sensitivity of the curves to variations in input parameters was carried out IPR (reservoir inflow curve), VLP (vertical lift characteristic).

As can be seen from graph 3, a change in the permeability parameters of the damaged zone affects only the IPR curve. At the same time, the flow rate decreases with a decrease in the permeability of the damaged zone, as a result, the filtration and capacitance characteristics of the formation deteriorate, which leads to a decrease in flow rate, as a result of which the point of optimal well operation shifts to the left. A change in the permeability values of the damaged zone will not affect the characteristics of the vertical lift, since the permeability parameter characterizes the permeability of the damaged zone of the reservoir and will not affect the characteristics of liquid lifting along the tubing [3].

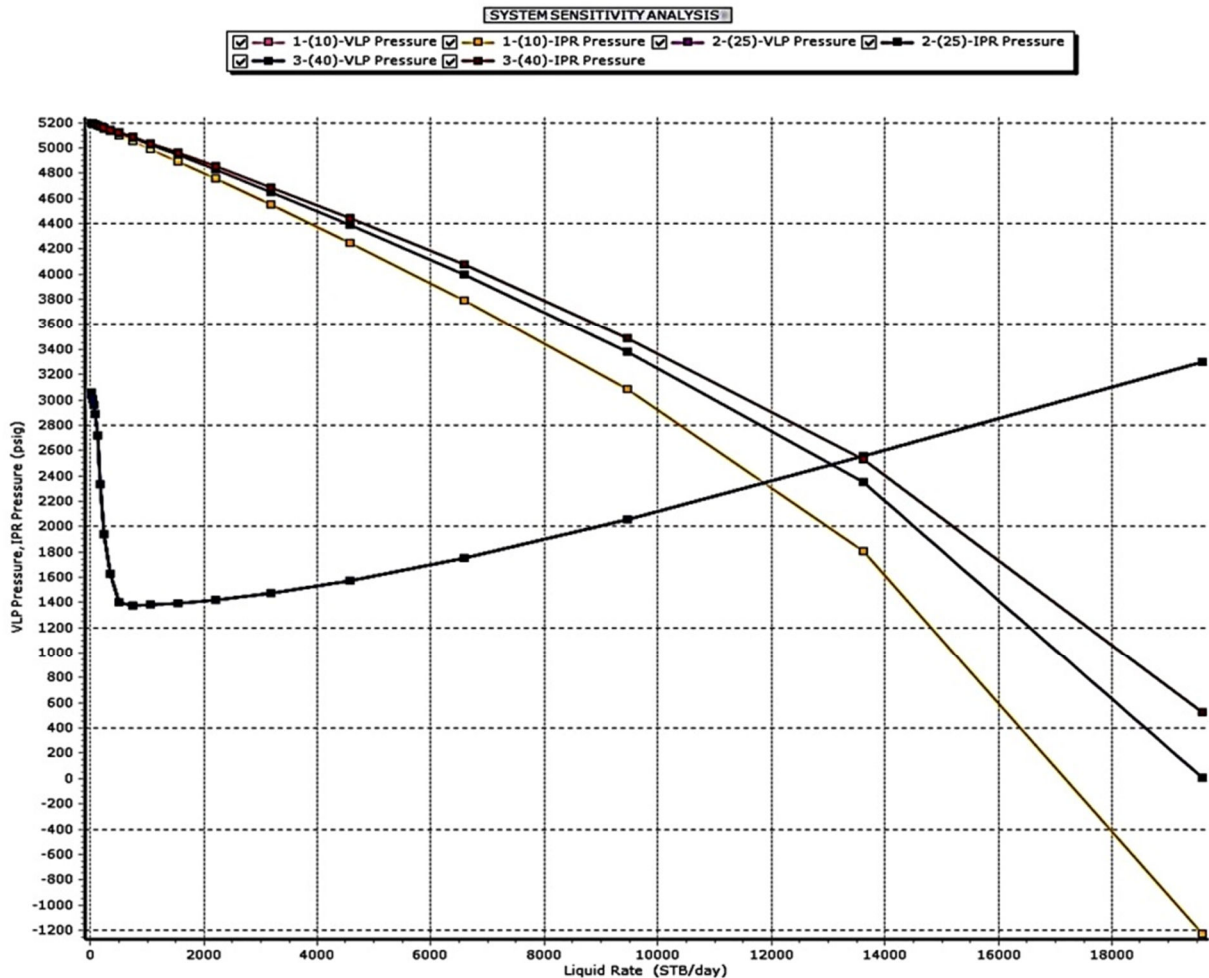


Figure 3 – Sensitivity of the IPR and VLP curves on fluid flow rate to various permeability of the damaged zone

Graph 4 shows the sensitivity of the curves of the dependence of bottomhole pressure on fluid flow rate to various values of the gas-oil ratio. As can be seen from the figure, a change in the GOR value will affect the characteristics of the fluid inflow, both in the reservoir and along the tubing. An increase in GOR leads to large pressure losses due to friction, because gas is more mobile than oil. With a GOR value of 600 scf/STB, the oil production rate is 12,000 barrels per day. With an increase in gas oil production to a value of 800, the flow rate is approximately 13,000. A further increase in oil production will lead to a slight increase in production, which will amount to 13,200 barrels. Thus, we can conclude that an increase in gas production rate helps to increase oil production to a certain value and a further increase in gas production rate will not lead to an increase in production, due to the fact that gas, having greater mobility, will create large friction losses [4, 8].

Tubing diameter (Fig. 5). Downhole production will increase as tubing diameter increases (tubing pressure drop will decrease, resulting in a higher pressure drop for the same reservoir and separator pressure). With a subsequent increase in tubing diameter from 4.5 inches to 6 inches, the increase in production decreases. However, at a certain diameter, the velocity of the flow (gas) directed upward will decrease so much (due to the increase in diameter) that it will not

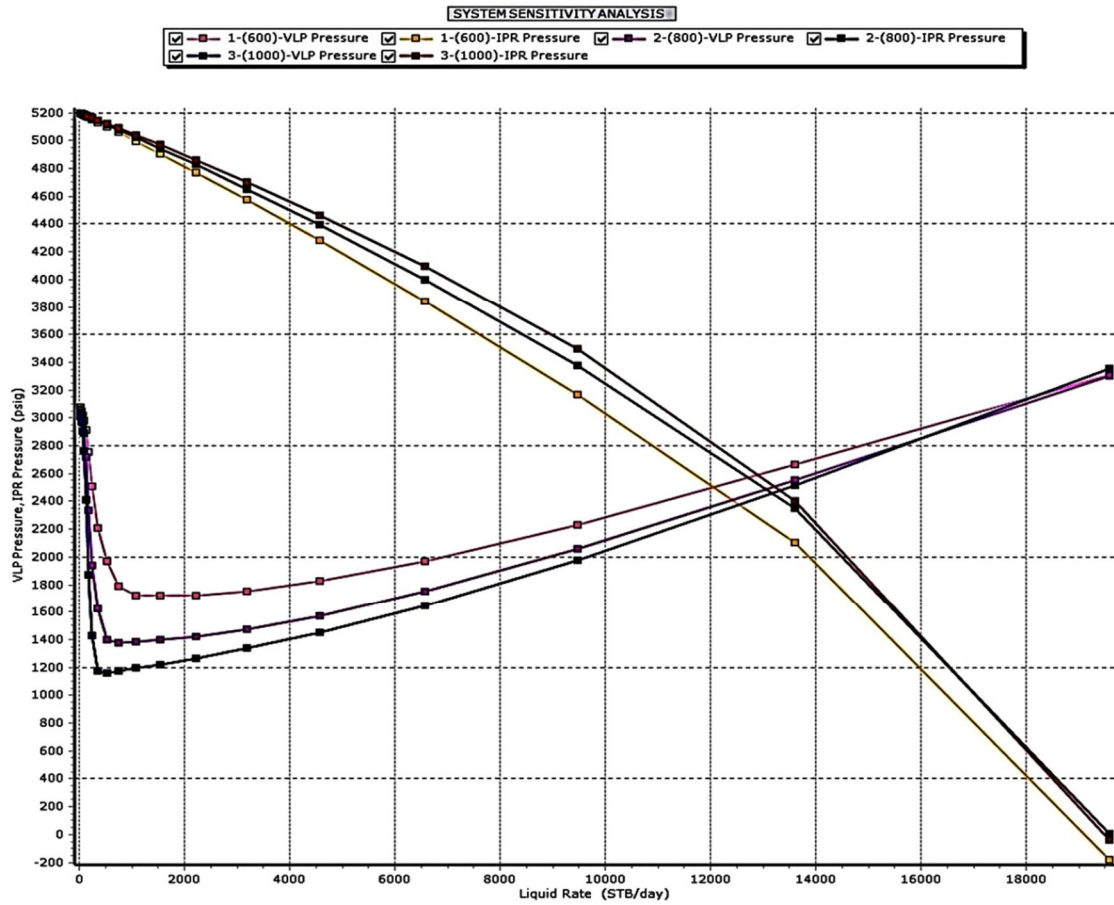


Figure 4 – Sensitivity of the IPR and VLP curves on fluid flow rate to various GOR

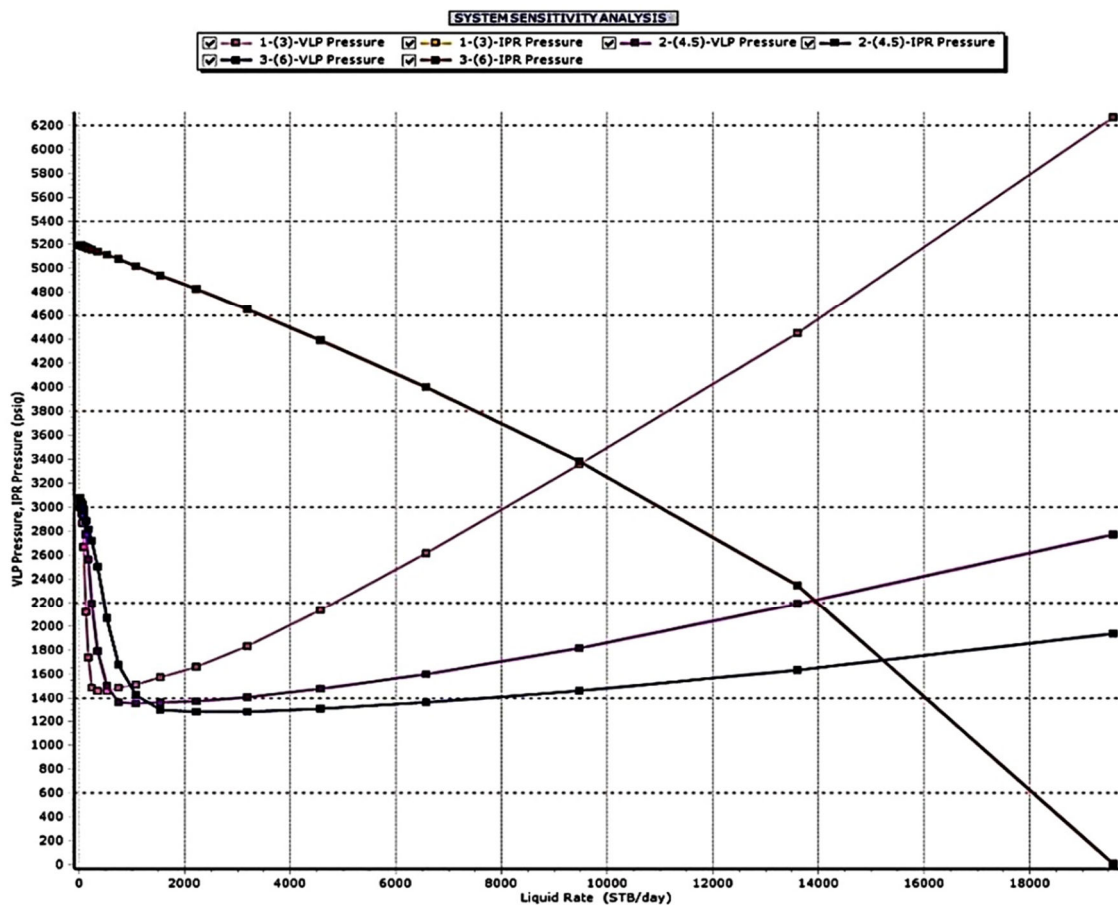


Figure 5 – Sensitivity of the IPR and VLP curves on fluid flow rate to various tubing diameter

be able to effectively lift the liquid to the surface, the volumetric content of the liquid will increase. It should be noted that with a further increase in the tubing diameter, the flow rate will not increase. An even greater increase in the tubing diameter leads to unstable flow, which is caused by a change in regime with a decrease in flow rate. With a smaller tubing diameter, it is possible to produce at a lower rate but with greater stability [9].

The diameter of the tubing, as well as the parameters discussed earlier, will influence the characteristics of liquid lifting along the tubing. An analysis was carried out of the sensitivity of oil production to various tubing diameters taken in the range from 1 to 6 inches. Based on these data, the dependence of the flow rate on the diameter of the lift was constructed. As can be seen from the graph, an increase in pipe diameter leads to an increase in oil production. For a more accurate analysis, the dependence of bottomhole pressure on fluid flow rate was also plotted. According to this graph, there is also an increase in production with increasing tubing diameter, however, with a further increase in pipe diameter from 5.4 to 6 inches, the increase in production is insignificant. Therefore, the optimal tubing diameter can be taken as 5.4 inches.

Conclusion

The use of conventional simulation methods is hampered by two important factors. The first is that the models in the technological scheme are static and the possibility of their application is limited by the fact that the characteristics description of the system are relevant only at a certain point in time and in the future there is a need to re-configure these models. The second factor is due to the fact that conventional methods in most cases do not take into account the dynamic nature of processes.

As for intelligent process modeling, it is especially worth emphasizing the possibility of widespread use of interdisciplinary boundary conditions for consistent modeling. The main concept of this approach is the ability to simulate the processes of a dynamic system with adaptation to changing operating conditions.

3. Based on studies of the IPR (Inflow Performance Relationship) and VLP (Vertical Lift Performance) dependencies, the optimal indicators of the oil recovery process can be determined depending on the gas-oil ratio, water cut, tubing diameter, and gas-liquid ratio. For each of the parameters, it is able to determine the optimal value to ensure improved performance of the oil production process.

References:

1. Boyun Guo, Kai Sun and Ali Ghalambor // Well Productivity Handbook. – 2008.
2. Jonathan Bellarby. Well Completion Design. – 2009
3. Zhang et al. A unified mechanistic model for slug liquid holdup and transition between slug and dispersed bubble flows. – 2003
4. Hasan A.R. and Kabir C.S. Fluid Flow and Heat Transfer in Wellbores. – 2002.
5. L.P. Dake. Fundamentals of Reservoir Engineering. – 1978.
6. Beggs H.D. Production Optimization Using NODAL Analysis, 2nd edition. – Tulsa : OGCI, Inc., Petroskils, LLC., and H. Dale Beggs, 2008.
7. Michael J. Economides A. Daniel Hill, Christine Ehlig-Economides, Ding Zhu, Petroleum Production Systems, 2nd Edition. – 2012.
8. Guo B. and Ghalambor A. Natural Gas Engineering Handbook. Houston. – TX : Gulf Publishing Company, 2005.
9. Prosper User Guide. Petroleum Experts.

УДК 622.692.4.053

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРНОГО АГРЕГАТА НА МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ

Никифоров Д.С.**Астраханский государственный технический университет**
студент
deniska_nikiforov_00@inbox.ruНаучный руководитель –
Нурмакова Ж.И.**Астраханский государственный технический университет**
Заместитель заведующего кафедрой разработки
и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений,
кандидат биологических наук, доцент
nurmak@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию возможности применения турбодетандерного агрегата в целях рационального использования энергии с помощью избыточного перепада давления природного газа для использования на магистральном газопроводе.

В последние годы мировая экономика характеризуется увеличением потребления полезных ископаемых, что привело к повышенному спросу на энергосберегающие технологии для нефтегазовой промышленности, которое связано с использованием турбодетандерных агрегатов. Принципиальное конструктивное устройство утилизационных турбодетандерных агрегатов достаточно простое. Их основными элементами являются: турбодетандер, где происходит расширение от входного до заданного выходного давления природного газа, электрогенератор, воспринимающий мощность турбодетандера, автоматическая система управления и система смазки подшипников. Отсутствие процесса сжигания газа обеспечивает полную экологическую чистоту технологического процесса.

Ключевые слова: турбодетандерный агрегат, установка детандер-генератора.

Альтернативой дросселированию является применение детандер-генераторных агрегатов. Основными частями детандер-генераторного агрегата являются детандер и электрический генератор. Детандер представляет собой аппарат расширительного действия, рабочим телом в котором является транспортируемый природный газ, причем газ в детандере не сжигается, а расширяется со снижением давления и температуры. При этом происходит преобразование внутренней энергии газа в кинетическую энергию, затем в механическую работу, которая, в свою очередь, может быть преобразована в электрическую энергию в генераторе.

Для достижения цели стабильного, бесперебойного и экономически эффективного удовлетворения постоянно возрастающего внутреннего и внешнего спроса на природный газ Энергетической стратегией России на период до 2035 года предусматривается, в том числе, решение задач ресурсо- и энергосбережения, сокращения потерь и снижения затрат на всех стадиях технологического процесса при добыче, подготовке и транспорте газа.

В работе рассматриваются варианты применения турбодетандерных установок на месторождениях Северного Каспия и газоснабжение потребителей г. Невинномыска с целью преобразования и использования энергии, заложенной в магистральные газопроводы.

Принципиальное конструктивное устройство утилизационных турбодетандерных агрегатов достаточно простое. Их основными элементами являются: турбодетандер, где происходит расширение от входного до заданного выходного давления природного газа, электрогенератор, воспринимающий мощность турбодетандера, автоматическая система управления и система смазки подшипников. Отсутствие процесса сжигания газа обеспечивает полную экологическую чистоту технологического процесса.

Турбодетандерные агрегаты (рис. 1) могут энергию поток газа, утилизировать и преобразовать в электроэнергию для обеспечения автономности систем связи, контроля, управления, освещения и сигнализации, повысив, тем самым, эффективность.

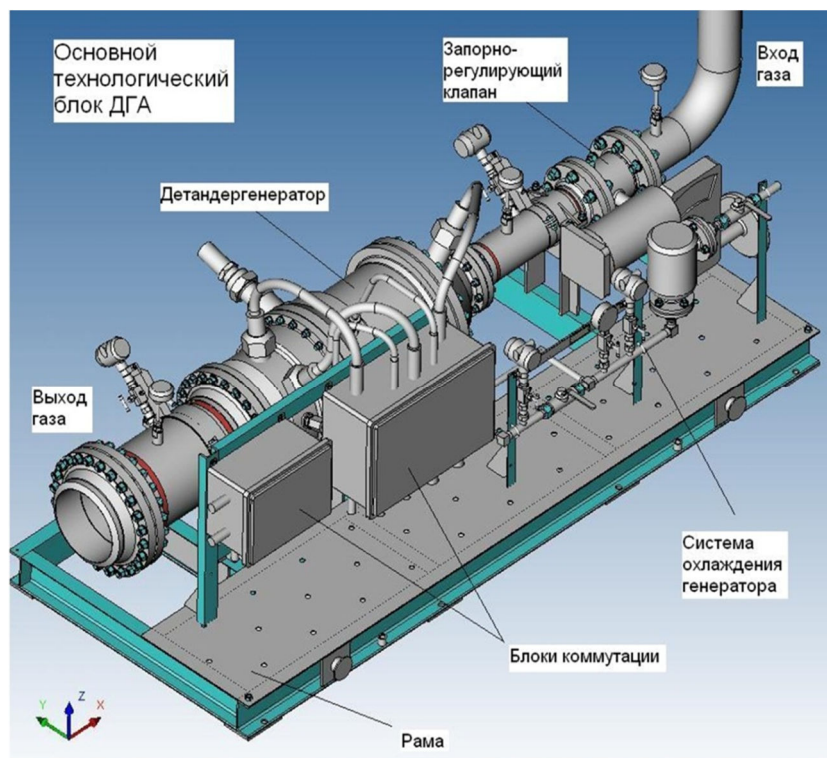


Рисунок 1 – Схема установки ДГА

Турбодетандерные агрегаты включают в себя блок турбодетандера, блок арматурный и поставляются с газовой обвязкой, запорно-регулирующей арматурой, системами дренажа, подачи ингибитора гидратообразования и подачи буферного газа. Агрегат со вспомогательными системами смонтирован на общем основании, и поставляется с ответными фланцами и крепежными деталями.

Предлагается в целях энергосбережения на магистральном газопроводе использовать турбодетандерные агрегаты российского производства (табл. 1 и рис. 2).



Рисунок 2 – Турбодетандерный агрегат российского производства

Газопровод от ООО «Ставролен» до района г. Невинномыска Ставропольский край, муниципальный округ Буденновский, муниципальный округ Новоселицкий, муниципальный округ Александровский, городской округ Минераловодский, муниципальный округ Андроповский, муниципальный округ Кочубеевский, городской округ город Невинномысск проектный объем транспортировки газа – около 4,4 млрд куб. метров в

год; мощность ДКС – 35 МВт; производительность ГИС – около 4, 4 млрд куб. метров в год использование газа месторождений Северного Каспия и газоснабжение потребителей г. Невинномысска.

Таблица 1 – Параметры турбодетандерных агрегатов российского производства

Марка	Производительность млн нм ³ /сут (нм ³ /час)	Давление в детандере МПа (кгс/см ²)		Температура в детандере, °С		Мощность, кВт	Масса изделия (в объеме поставки), кг
		начальное	конечное	начальное	конечное		
ТДА 5/80	5	6,63	8	-9	-20	650	30 000
БДКА 2-4	2	3,28	1,57	-45	-70	850	40 000
Поставка роторов для ТДА Rotoflow (США)	2,1	6,15	1,75	-50	-101	3 000	1 000
Реинжиниринг и изготовление СПЧ турбодетандеров Mafi Trench (США)	2,6	2,94	1,45	-45,7	-71,6	2 300	5 000
Реинжиниринг и изготовление СПЧ турбодетандеров L.A. Turbine (США)	3	6,81	0,9	4,9	-65,6	2 800	5 000
БДКА 4,2/15 ХЛ1	4,2	14,9	9,97	5,3	-18	1 905	75 000
МТДА-8,4-9,7 МП УХЛ1	8,4	9,7	2,6	-2	-65,7	5 929	60 000
МТДА-8,6-9,9 МП УХЛ1	8,6	9,9	2,6	-2	-67	6 186	60 000

Применение ТДА на магистральном газопроводе ООО «Ставролен» до района г. Невинномысска Ставропольский (рис. 3):

- позволит увеличить использование газа на месторождениях Северного Каспия;
- позволит увеличить газоснабжение потребителей г. Невинномысска с целью продажи сжиженного природного газа потребителю.

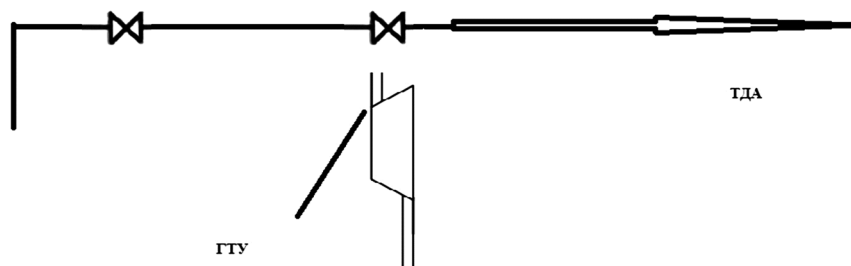


Рисунок 3 – Применение турбодетандерного агрегата на ООО «Ставролен»

Таким образом, отсутствие сжигания газа обеспечивает повышенную экологическую чистоту технологического процесса. А также возможность использования на магистральном трубопроводе ООО «Ставролен» позволит увеличить использование газа на месторождениях Северного Каспия и увеличить газоснабжение потребителей г. Невинномысска с целью продажи сжиженного природного газа потребителю.

Список литературы:

1. Воробьев А.Е. Инновационные технологии газовых турбин. – М. : Издательство Российского университета дружбы народов, 2017. – 296 с.
2. Мальханов В.П. Турбодетандерные агрегаты в системах подготовки и распределения природного газа. – М. : «Нефть и газ», 2004. – 226 с.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ НИЖНЕПЕРМСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ КОСЬВИНСКО-ЧУСОВСКОЙ СЕДЛОВИНЫ И СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЮРЮЗАНО-СЫЛВЕНСКОЙ ДЕПРЕССИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Новокшонов
Дмитрий Николаевич

Всероссийский научно-исследовательский геологический
нефтяной институт
аспирант
novokshonov@vnigni.ru

Аннотация. Промышленная нефтеносность в отложениях нижнего отдела пермской системы связана с карбонатными отложениями артинского и сакмарского возрастов. Особенностью залежей нефти данного комплекса является их литолого-фациальная изменчивость, что существенно влияет на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов. При этом в продуктивной части разреза нижнепермских отложений так или иначе отмечается трещиноватость, что оказывает влияние на разработку месторождений с данными коллекторами.

Ключевые слова: нефть, месторождение, нижнепермские отложения, артинские отложения, сакмарские отложения, карбонатный коллектор, трещиноватость, скважина, заводнение.

Отложения пермской системы распространены почти на всей территории площади Пермского края и представлены всеми ярусами отдела. Характерной особенностью отложений данной системы является субмеридиональное расположение фациальных зон [1]. Результаты исследований ОАО «КамНИИКИГС» позволили выделить 10 литолого-фациальных зон, которые изменяются от лагунных доломитово-известняковых на западной части территории до прибрежно-морских хемогенно-обломочных на восточной части, к некоторым из которых приурочены рассматриваемые тектонические элементы и структуры.

Перспективность нефтегазоносности нижнепермских отложений в пределах Предуралья обусловлена особенностью процесса осадконакопления и строения терригенно-карбонатных толщ раннепермского этапа формирования земной коры. В северной части Пермского края большое влияние на процесс формирования залежей оказывает соленосная толща кунгурского яруса, которая служит надежным флюидоупором для вмещающих нефтегазоносных толщ подсолевых отложений. Кроме того, в пределах прогиба нефтегазоносность комплекса установлена на структурах облекания нижележащих отложений, а также в рифогенных массивах и одиночных рифах («бескорневых» структурах) артинского возраста.

Восточная окраина платформы и прогиба, в пределах которых расположены Косьвинско-Чусовская седловина и Юрюзано-Сылвенская депрессия, в ассельско-сакмарское время активно заполнялись осадочными породами. В прибрежно-морских условиях накапливались карбонатные отложения, представленные органогенно-обломочными и рифогенными массивными известняками. В артинское время произошло изменение обстановки осадконакопления с мелководно-морских на относительно-глубоководные карбонатные с примесью глинистого и песчаного материала. Это привело к существенному литолого-фациальному различию между отложениями [2].

Литологическое описание разреза нижнепермских отложений показывает, что породы-коллекторы зачастую представлены трещиноватыми известняками и доломитами, а также известковистыми конгломератами и полимиктовыми песчаниками [1]. Проницаемая толща перекрывается плотными глинистыми известняками или тонкослоистыми аргиллитами.

Так, сакмарские отложения, в пределах рассматриваемых тектонических элементов, характеризуются значительной толщиной отложений (до 450 м) и зачастую представлены органогенно-обломочными, слоистыми известняками с включениями кремня. Рифо-

генный тип разреза выделен условно и представлен только в пределах Юрюзано-Сылвенской депрессии в виде меридиональной полосы [1]. При этом отложения данного возраста менее подвержены резкой изменчивости литолого-фациального состава по сравнению с артинскими отложениями.

Артинские отложения характеризуются изменчивостью литологического состава в пределах рассматриваемых тектонических элементов. Известняково-доломитовый тип разреза характерен для восточной платформенной части. Толщина отложений незначительно возрастает с запада на восток. Восточная окраина платформы, а также сам прогиб, представлены известняковым типом разреза с толщиной отложений до 500 м [3]. Рифовая часть разреза, сформировавшаяся широкой полосой вдоль края платформы, представлена массивными известняками и доломитами с толщиной отложений до 300 м. Межрифовая фация сложена известняками глинисто-детритовыми, а также мергелями. Общей характерной чертой отложений в данной части территории является то, что нижняя часть разреза сложена слоистыми известняками, а верхняя часть – глинистыми известняками и мергелями, с общей толщиной до 300 м [1].

Различие литолого-фациального состава нижнепермских отложений объясняет резкую изменчивость их фильтрационно-емкостных свойств независимо от рифогенной или слоистой природы коллектора. Пористость в таких пластах изменяется от 1 % до практически 30 %, проницаемость – от 0,001 до 0,44 мкм². Отличительной особенностью данного типа отложений является и отсутствие четкой корреляционной связи проницаемости коллектора от пористости [4]. Высокие значения проницаемости могут быть обусловлены трещиноватой составляющей в сочетании с межзерновой структурой строения порового пространства. Так, для коллекторов сакмарского яруса при значении пористости 10 %, проницаемость не превышает 0,001 мкм². При разработке таких отложений приток жидкости к скважинам возможен только при наличии трещиноватости коллектора.

Обобщение результатов исследований скважин методом установившегося отбора, представленное в работе С.О. Денка «Геотехнология межблоково-проницаемых коллекторов нефти и газа», позволяет сделать вывод, что при разработке таких коллекторов на естественном упруговодонапорном режиме минимальная (критическая) депрессия относительно величины начального пластового давления не должна превышать 36 % [5]. В этом случае коллектора межблоково-проницаемого типа, к которым можно отнести карбонаты артинского и сакмарского возрастов, сохраняют свои фильтрационные характеристики с минимальными изменениями.

На сегодняшний день промышленная нефтегазоносность нижнепермских отложений установлена в отложениях сакмарского и артинского ярусов 11 месторождений Пермского края.

В пределах Косьвинско-Чусовской седловины нефтегазоносность сакмарских и артинских отложений выявлена на Таборковском, Ульяновском, Ольховском месторождениях, на территории Юрюзано-Сылвенской депрессии – на Копальнинском и Лысьвинском месторождении (рис. 1).

Залежи углеводородов, представленные в указанных тектонических элементах, характеризуются сходными геологическим строением, свойствами и составом пластовых флюидов, залегают практически на одинаковой глубине. На указанных месторождениях получены промышленные притоки нефти и газа, а также имеется опыт разработки карбонатных отложений нижнепермской системы.

Ульяновское месторождение. Ульяновское месторождение открыто в 1970 г. в результате поисково-разведочного бурения на Тиховской площади. В пределах месторождения установлена промышленная нефтеносность в нижнепермских карбонатных отложениях, приуроченных к коллекторам сакмарского и артинского возрастов (пласт См+Ар). Выявлена одна залежь нефти массивного типа, литологически экранированная с юга, запада, севера, востока, кроме незначительной ее части на северо-востоке и юго-западе.

По результатам исследования керна, отобранного на этапе разведки месторождения из скважин, вскрывших плотную часть разреза, коллекторские характеристики сакмарско-артинских отложений ухудшаются по всем направлениям вплоть до полного замещения пласта плотными породами.

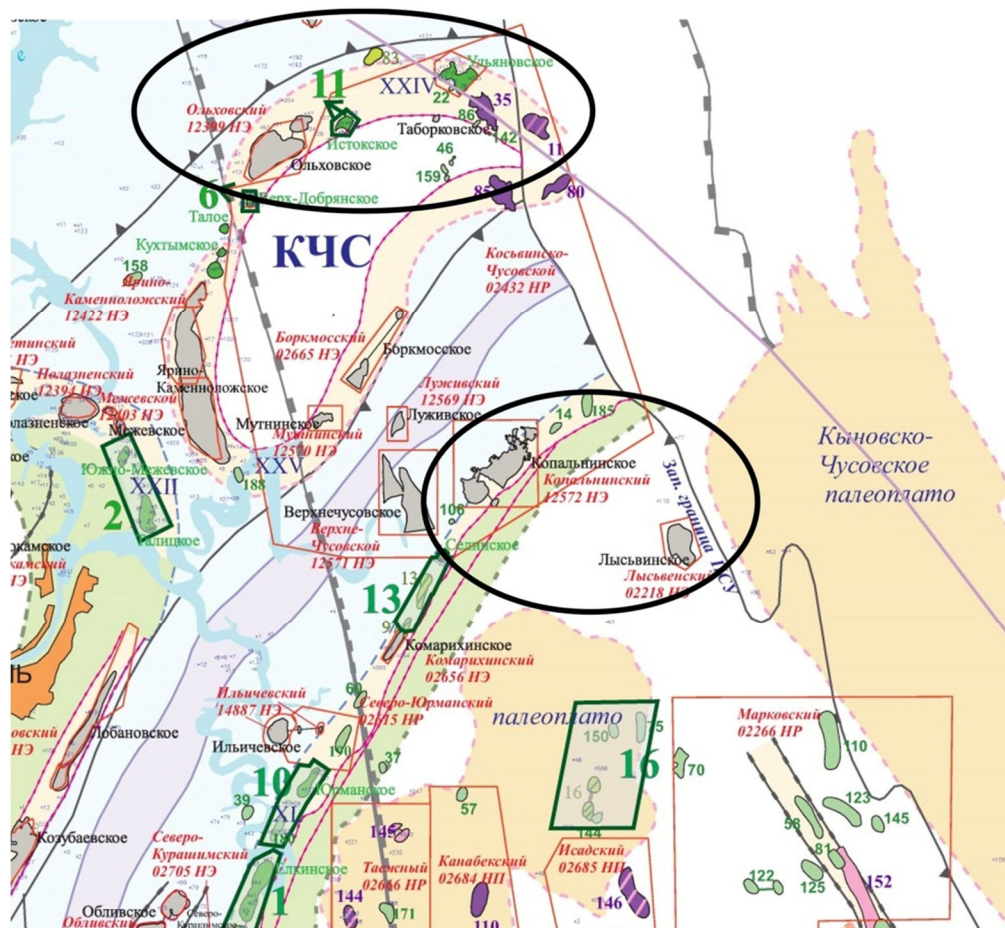


Рисунок 1 – Выкопировка из схемы расположения месторождений УВС Пермского края

Нефтенасыщенность сакмарско-артинских отложений подтверждена по ГИС, данным опробования скважин в процессе бурения и испытания в эксплуатационной колонне, при которых фонтанный приток нефти на различных штуцерах варьировал в пределах от 0,4 до 224 т/сут.

Наличие трещиноватости в описании керна, а также значительное различие проницаемости продуктивной части разреза, определенной по керну и результатам промысловых гидродинамических исследований (табл. 1), объясняет высокие притоки нефти в период испытаний.

Таблица 1 – Краткая геолого-физическая характеристика Ульяновского месторождения

Параметры	Пласт См+Ар
Площадь нефтеносности, тыс. м ²	8123
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, м	2,7
Средняя нефтенасыщенность пласта, доли ед.	0,843
Проницаемость по керну/ промыслов. исследованиям, мкм ²	0,092/0,159
Пористость, доли ед.	0,075
Коэффициент песчаности, доли ед.	0,07
Коэффициент расчлененности, ед.	3,1
Начальная пластовая температура, °С	15
Начальное пластовое давление, МПа	7,0
Давление насыщения, МПа	5,9
Вязкость нефти в пластовых условиях, мПа×с	1,17
Газосодержание, м ³ /т	61,6

Разработка объекта См+Ар осуществлялась в период 1975–1989 гг. (рис. 2). До начала апреля 1977 г. разработка осуществлялась на естественном упруговодонапорном режиме. Высокие темпы отбора жидкости привели к ухудшению энергетического состояния залежи, что существенно сказалось на производительности скважин. Снижение пластового давления ниже давления насыщения в зонах отбора привело к падению продуктивности скважин и разгазированию нефти, о чем свидетельствовал рост газового фактора по скважинам до 800 м³/т.

За весь период разработки месторождения в добыче пребывали 12 скважин. Накопленная добыча нефти составляет 31 тыс. т, что соответствует величине отбора от НИЗ в 9 % при обводненности 47 %. Текущий коэффициент извлечения нефти (КИН) – 0,032, при утвержденном значении 0,200.

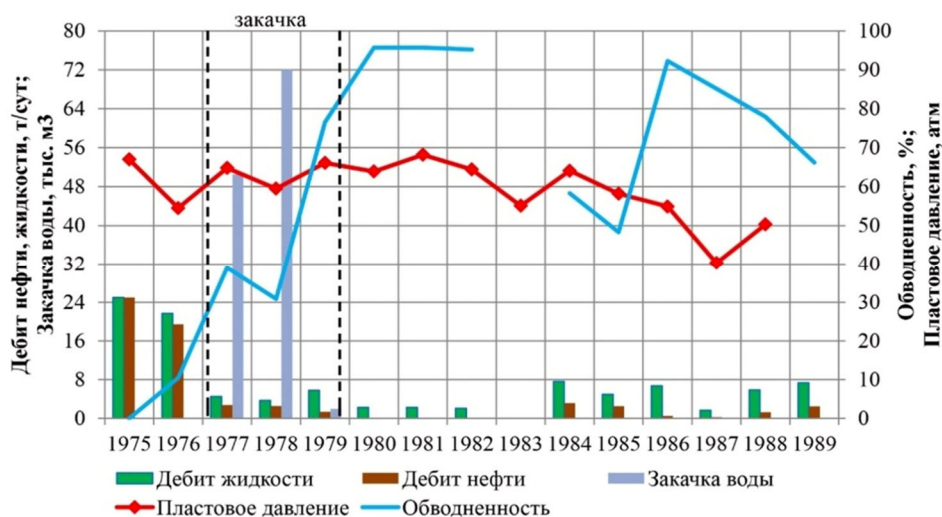


Рисунок 2 – Показатели разработки Ульяновского месторождения

В 1977 г. для улучшения энергетического состояния объекта начата организация системы поддержания пластового давления путем закачки пресной воды: были сформированы два очага нагнетания в северо-западной и юго-восточной частях залежи. Однако сформированная система оказалась практически неэффективна и не оказала существенного влияния на процесс разработки. Так, во вскрытом перфорацией интервале коллекторов (а именно в подошвенной части) оказались пропластки с повышенной естественной пористостью и трещиноватостью. Это подтверждалось данными гидродинамической расходомерии (РГД), по результатам которой основная часть закачиваемой воды поглощалась подошвенной частью интервала. В добывающих скважинах, расположенных вблизи от очага нагнетания, данный интервал также был вскрыт перфорацией, что привело к их стремительному обводнению.

Нагнетательная скважина второго очага закачки оказалась в зоне ухудшенных коллекторских свойств, о чем свидетельствовало практически полное отсутствие приемистости. Учитывая наличие глинистости в эффективной части коллекторов, можно сделать вывод о ее разбухании и закупорки пор по причине закачки пресной воды. Неоднократное воздействие на призабойную зону путем обработки соляной кислотой и увеличение давления нагнетания до 20 МПа привело к улучшению приемистости скважины. Это, вероятнее всего, обусловлено появлением техногенной трещиноватости, образовавшейся в результате авто-ГРП по причине превышения забойного давления выше давления разрыва пород. Однако данное воздействие не оказало какого-либо влияния на окружающие добывающие скважины, что свидетельствует от том, что данная нагнетательная скважина даже с учетом техногенной трещиноватости имеет ограниченную зону воздействия.

О разном геологическом строении сакмарско-артинских отложений в пределах месторождения косвенно можно судить и по динамике пластового давления и обводнения скважин закачиваемой водой. Непосредственно вблизи от нагнетательной скважины, расположенной в зоне распространения повышенной естественной пористости и трещиноватости коллектора, отмечался активный рост давления. Начальное пластовое давление в скважинах, пробуренных в непосредственной близости от очага

нагнетания после организации закачки, превышало значение, определенное в разведочный период, почти в 1,4 раза. По некоторым скважинам, ввиду неполного вскрытия нефтенасыщенной части коллектора, рост пластового давления был незначительным. Аналогичная ситуация наблюдалась и по добывающим скважинам, расположенным между очагами нагнетания: темпы прироста пластового давления были невысокими. Это может быть обосновано тем, что данные скважины расположены в зоне, в которой произошло смыкание трещинной части коллектора, охваченной разработкой на первоначальном этапе (до ввода системы ППД).

Исследования проб попутно добываемой воды с целью определения плотности по добывающим скважинам, также показали активную связь нагнетательной и добывающих скважин, расположенных в зоне распространения повышенной естественной пористости и трещиноватости коллектора (первый очаг нагнетания). По скважинам, расположенным на расстоянии эксплуатационного шага (600 м), уже через два года после начала закачки обводненность продукции выросла до 90–99 %. Наиболее интенсивное обводнение скважин происходило в юго-восточной части от очага нагнетания, менее интенсивно – в северо-западной. Учитывая интенсивную динамику обводнения скважин – закачку воды было решено остановить. Накопленная компенсация отбора закачкой к концу разработки составила 156 %.

Скважины, расположенные в удаленной зоне от очагов нагнетания и аквифера (юго-восточная окраина объекта), характеризуются существенно малыми объемами добытой нефти. Так, за месяц работы одной из скважин было добыто всего 24 тонны безводной нефти, после чего приток жидкости прекратился. Результаты замеров пластового давления манометром показали, что давление снизилось практически в два раза от первоначального значения. Вполне вероятно, что величина отбора обеспечена объемом упругого запаса коллектора в условиях ограниченной области дренирования. А результатом ухудшения энергетического состояния объекта стало смыкание трещин и нарушению связи основной части объекта с дренируемой областью, которая имеет ограниченный объем.

С 1990 г. разработка месторождения была прекращена из-за отсутствия обустройства месторождения и низких добычных возможностей скважин.

Процесс испытания скважин на месторождении сопровождался гидродинамическими исследованиями методом установившихся отборов (снятие индикаторных диаграмм (ИД)). Так, по одной из скважин данные исследования были проведены дважды с временным промежутком в один год. Обе индикаторные диаграммы имеют нелинейную зависимость между дебитом и забойным давлением – при снижении забойного давления происходит уменьшение коэффициента продуктивности (рис. 3). Нелинейность ИД можно объяснить снижением фазовой проницаемости коллектора по нефти вследствие ее разгазирования в пласте, поскольку забойные давления при исследованиях находились ниже давления насыщения (5,9 МПа). Кроме этого, снижение продуктивности может быть обусловлено вероятным проявлением сжимаемости трещин (дренируемый коллектор представлен карбонатными породами).

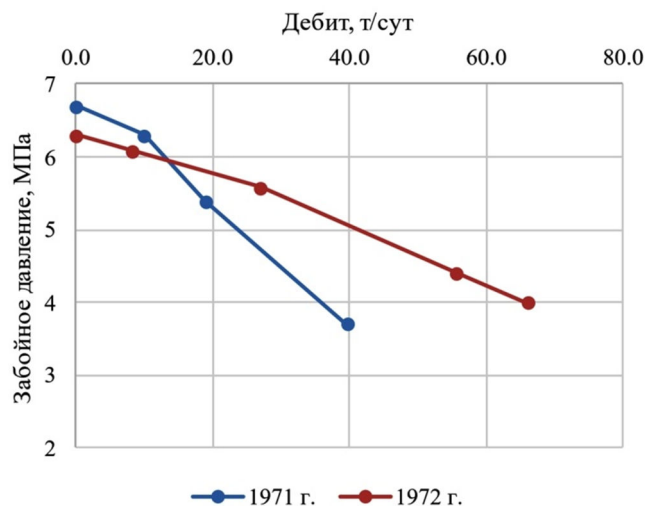


Рисунок 3 – Индикаторная диаграмма исследования скважины Ульяновского месторождения

Таким образом, на Ульяновском месторождении эффективная часть разреза сакмарско-артинских отложений представлена карбонатными породами в разной степени трещиноватыми. Предположительно, трещины имеют разнонаправленный характер, степень открытости и закарстованности, по наличию которых определялась связь между скважинами в процессе эксплуатации.

Таборковское месторождение. Месторождение открыто по результатам поисково-оценочного бурения в 2001 г. В артинских отложениях выявлена одна массивная, литологически экранированная газонефтяная залежь, приуроченная к карбонатной рифогенной постройке.

Коллектора нефтяной части разреза сложены карбонатными породами порового типа, осложнены развитой трещиноватостью, определяющей фильтрационную характеристику продуктивных частей разреза. Эффективная толщина порово-трещинных зон, достигая максимального значения в центре рифа и уменьшаясь к периферии, в окраинной части на западе и севере замещается плотными породами. О наличии трещиноватости свидетельствуют и результаты гидродинамических исследований скважины, а также значительное отличие проницаемости коллектора по керну (табл. 2).

Таблица 2 – Краткая геолого-физическая характеристика Таборковского месторождения

Параметры	Пласт P _{1ar}
Площадь нефте/газоносности, тыс. м ²	647/55
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, м	5,8
Средняя эффективная газонасыщенная толщина, м	4,7
Коэффициент пористости, доли.ед	0,10
Коэффициент нефтенасыщенности пласта, доли.ед	0,73
Проницаемость по керну/ промыслов. исследованиям, мкм ²	0,005/3,023
Коэффициент песчанистости, доли.ед	0,29
Коэффициент расчлененности, ед	12,0
Начальная пластовая температура, °С	14,5
Начальное пластовое давление, МПа	4,15
Давление насыщения, МПа	3,9
Вязкость нефти в пластовых условиях, мПа×с	2,30
Газосодержание, м ³ /т	57,7

По залежи артинских отложений Таборковского месторождения также отмечается аномально низкое пластовое давление (4,15 МПа), что почти в два раза ниже гидростатического давления (7,1 МПа). Это, вероятнее всего, обусловлено геологическим строением резервуара. В процессе формирования залежи произошла «разгрузка» коллектора, что в свою очередь привело к упругой релаксации и росту порового пространства по причине возникновения трещиноватости.

Добыча нефти на месторождении была начата в 2002 г. (рис. 4) и осуществлялась до 2011 г. За весь период разработки артинской залежи в добыче пребывала только одна скважина. Разработка объекта осуществлялась на естественном упруговодонапорном режиме в сочетании с газонапорным режимом, поскольку залежь осложнена газовой шапкой. В процессе эксплуатации дебит скважины стремительно снижался, что обусловлено ухудшением энергетического состояния объекта (пластовое давление снизили ниже давления насыщения) и привело к смыканию естественной трещинной части коллектора. За весь срок эксплуатации добывалась безводная продукция. Отобрано 11,6 тыс. т нефти, что соответствует величине отбора от НИЗ 17 %. Текущий КИН – 0,061, при утвержденном значении 0,400.

Результаты гидродинамических исследований скважины методом установившихся отборов в процессе испытания, при снижении забойного давления практически до давления насыщения (3,9 МПа), позволили оценить коэффициент продуктивности залежи. Так, при относительно небольшой депрессии, он составил 900 т/(сут×МПа). По построенной

индикаторной диаграмме, графоаналитическим способом была определена проницаемость призабойной зоны пласта, равная $4,2 \text{ мкм}^2$, проницаемость пласта по результатам интерпретации кривой восстановления давления (КВД) составила $3,0 \text{ мкм}^2$. Индикаторная диаграмма имела аномальный вид (искривление в сторону оси забойных давлений), что свидетельствовало о том, что смыкание трещин проявлялось уже при малых депрессиях на пласт и вызывало деформацию трещинно-порового коллектора. Увеличение депрессии с $0,01 \text{ МПа}$ до $0,15 \text{ МПа}$ привело к снижению продуктивности скважины практически в 2 раза (почти до $500 \text{ т}/(\text{сут} \times \text{МПа})$).

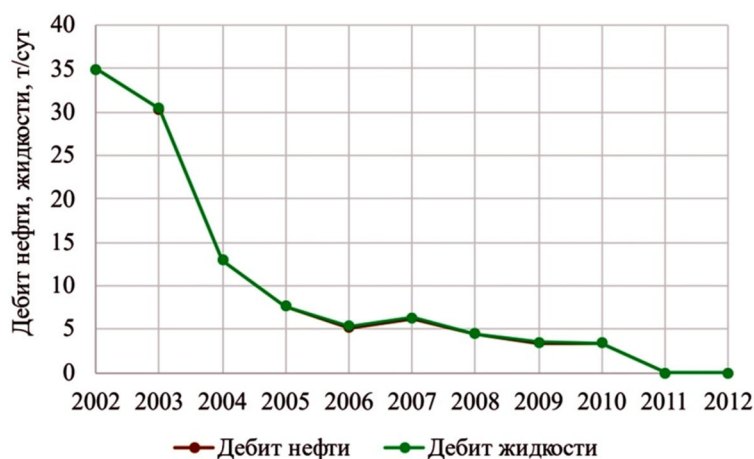


Рисунок 4 – Динамика среднего дебита нефти и жидкости Таборковского месторождения

Ввод скважины в эксплуатацию проводили на «сдающем» режиме при забойном давлении $4,1 \text{ МПа}$, что позволило восстановить продуктивность залежи практически до первоначального значения, полученного при испытании. По результатам гидродинамических исследований эффективная проницаемость коллектора составила $6,0 \text{ мкм}^2$. Восстановление продуктивности скважины подтверждает проявление сил упругой деформации пласта.

В дальнейшем, при эксплуатации, снижение забойного давления ниже давления насыщения привело к падению производительности скважины, что видно по динамике добычи жидкости и результатам исследований скважин. Так, продуктивность скважины снизилась до $30 \text{ т}/(\text{сут} \times \text{МПа})$, а эффективная проницаемость – до $0,250 \text{ мкм}^2$.

Согласно данным расходомерии, основной приток жидкости отмечался из кровельной части интервала перфорации, что вероятнее всего говорит о том, что вскрытые пропластки-коллектора представлены пористой и каверновой структурой порового пространства, так как вскрыты рифогенные карбонатные отложения, и осложнены наличием трещиноватости.

Динамика интенсивности снижения как производительности скважины, так и ее продуктивности, в сочетании с данными расходомерии, также подтверждают значительное влияние трещиноватости коллектора на разработку месторождения.

Ольховское месторождение. Месторождение открыто в 1961 г. по результатам поисково-разведочного бурения. Промышленная нефтеносность установлена в четырех нефтегазоносных комплексах: верхнедевонско-турнейском карбонатном, нижневерхневизейском терригенном, верхневизейско-башкирском карбонатном и нижнепермском карбонатном. В нижнепермском нефтегазоносном комплексе продуктивными являются слоистые карбонатные отложения сакмарского яруса: пласт С_{м1} и пласт С_{м2} (табл. 3). Поскольку собственный керновый материал отложений на месторождении отсутствует, литологическая характеристика залежей проводилась по результатам исследований одновозрастных отложений на рассматриваемой площади.

Все залежи пластовые сводовые, отнесены к известняковому нормально-слоистому типу разреза и сложены известняками, прослоями доломитизированными, серыми и светло-серыми, органогенными и зернистыми, участками пористыми и мелкозернистыми.

Таблица 3 – Краткая геолого-физическая характеристика Ольховского месторождения

Параметры	Пласт СМ2		Пласт СМ1
	Залежь 1	Залежь 2	Залежь 3
Площадь нефтеносности, тыс. м ²	4059	3136	4679
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, м	3,5	3,2	2,7
Средняя нефтенасыщенность пласта, доли ед.	0,35	0,40	0,45
Проницаемость, мкм ²	0,0018	0,0018	0,0018
Пористость, доли ед.	0,08	0,10	0,11
Коэффициент песчаности, доли ед.	0,230	0,227	0,244
Коэффициент расчлененности, ед.	3,95	4,17	3,44
Начальная пластовая температура, °С	16,5		
Начальное пластовое давление, МПа	8,9		
Давление насыщения, МПа	8,3		
Вязкость нефти в пластовых условиях, МПа×с	1,88		
Газосодержание, м ³ /т	72		

Продуктивные пласты совпадают в плане, что способствовало объединению их в единый эксплуатационный объект – сакмарский. Эффективные нефтенасыщенные толщины залежей невысокие и варьируют в пределах от 2,7 до 3,5 м, осложняются высокой геологической неоднородностью коллекторов (коэффициент песчаности 0,23–0,24 д. ед, расчлененность больше 3) и низкими значениями фильтрационно-емкостных свойств: пористость – 0,08–0,11 д. ед, проницаемость – 0,0018 мкм² и низкой нефтенасыщенностью – 0,35–0,45 д.ед.

Разработка сакмарского объекта началась в 1971 г. вводом в эксплуатацию скважины № 300 с начальным дебитом безводной нефти 2,0 т/сут. В добыче пребывали две скважины в период 1971–1977 гг. (рис. 5). Скважины выводились из эксплуатации из-за низких дебитов по нефти. За весь срок разработки отобрано две тыс. т нефти. Отбор от НИЗ 6 % при обводненности 62 %. Объект разрабатывался на естественном режиме.

Динамика снижения дебита жидкости добывающих скважин на месторождении свидетельствует об ухудшении энергетического состояния пластов, что обусловлено слабой связью нефтяной части с законтурной водоносной областью (аквифером).

Гидродинамические исследования скважин на этапе разведки и разработки сакмарских отложений не проводились, поэтому оценить трещиноватую составляющую продуктивного коллектора не представляется возможным.

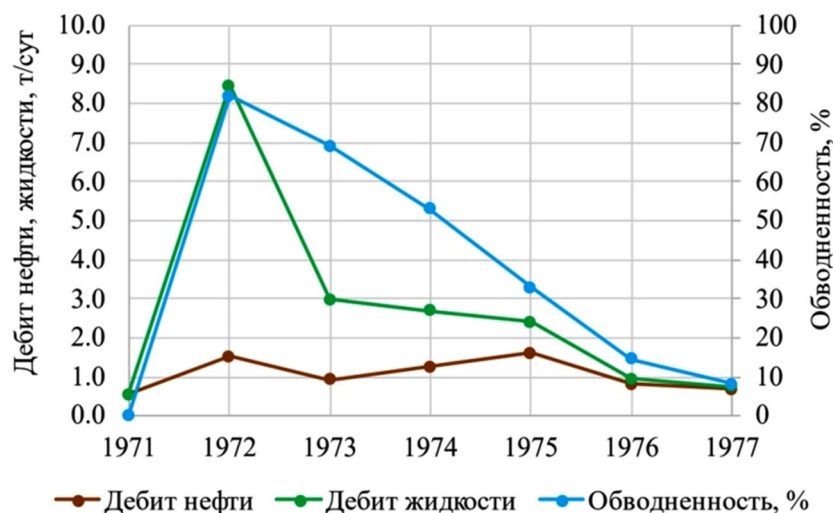


Рисунок 5 – Динамика среднего дебита нефти, жидкости и обводненности Ольховского месторождения

Копальнинское месторождение. Месторождение открыто по результатам поисково-разведочного бурения в 1970 г. Промышленная нефтеносность на месторождении связана с карбонатными артинско-сакмарскими отложениями (пласты Ар, С_{м1}, С_{м2}) нижней перми.

Особенностью Копальнинского месторождения является расположение его в переходной зоне от карбонатно-обломочного типа разреза в преимущественно обломочные отложения [4].

По данным геофизических исследований в карбонатной части артинского яруса выделено 20 проницаемых прослоев общей толщиной 64 м, из них 13,3 м нефтенасыщенные. Пачка плотно расположенных пористых слоев в целом имитирует мощный пласт или пласты с относительно пониженной плотностью.

Сакмарские отложения значительно меньшей степени, чем артинские подвержены лито-фациальным латеральным изменениям. Сакмарский природный резервуар можно охарактеризовать как плоскопараллельное залегание маломощных и невыдержанных по площади пропластков – проницаемых разностей карбонатных пород.

По описанию кернового материала по артинским и сакмарским карбонатным отложениям отмечается трещиноватость и кавернозность.

За весь период разработки месторождения в добыче пребывали всего две скважины: по одной на артинские и сакмарские отложения.

Добыча нефти на месторождении начата в 2006 г. вводом скважины из консервации на артинские отложения. На этапе разведки месторождения в процессе испытания скважины был получен фонтанный приток безводной нефти дебитом 24,4 т/сут, после чего скважина была законсервирована до организации нефтепромысла. При расконсервации скважины спустя более 30 лет, после неоднократной соляно-кислотной обработки призабойной зоны, получить аналогичный дебит в процессе испытания не представлялось возможным. На момент ввода в пробную эксплуатацию механизированным способом дебит скважины составлял 0,2 т/сут безводной нефти. Однако вскоре приток из пласта практически полностью прекратился. Это может свидетельствовать о том, что радиус дренирования у скважины вероятно очень мал, и гидродинамическая связь с основной частью залежи нарушена. По причине отсутствия притока скважина была переведена в бездействие до момента бурения бокового ствола.

Ввод бокового ствола (пробурен в 50 м от материнского ствола) позволил повысить уровни добычи нефти на месторождении. Скважина была введена в эксплуатацию механизированным способом с практически полным отсутствием обводненности и дебитом нефти 2,9 т/сут. За первый год эксплуатации производительность снизилась в три раза, что вероятнее всего связано с ухудшением энергетического состояния пласта и смыканием трещинной части коллектора, что наблюдалось на аналогичных объектах Косьвинско-Чусовской седловины.

Новая эксплуатационная скважина, пробуренная на расстоянии 200 м от бокового ствола, немного уточнила геологическое строение артинских отложений. По результатам интерпретации ГИС в интервале залегания пласта Ар он представлен маломощными нефтенасыщенными пропластками; отмечается высокая относительная глинистость коллектора (0,281–0,553 д. ед.), что свидетельствует об ухудшенных ФЕС (для сравнения в материнском стволе скважины, из которой был пробурен боковой ствол, относительная глинистость варьирует в пределах 0,0–0,105 д. ед.). Коллектор артинских отложений представлен глинистым (коэффициент глинистости (К_{гл}) 3,4–5,0 %) низкопористым (коэффициент пористости (К_п) 5,5–7,0 %) известняком, известняком и глинистым известняком, разделенных алевролитом. Для стимуляции притока жидкости из пласта был выполнен намыв каверн технической водой с последующей соляно-кислотной обработкой в объеме 20 м³ с двухчасовым ожиданием реакции. Кислотная обработка призабойной зоны не позволила получить положительного эффекта. По результатам освоения из скважины было извлечено 13 м³ жидкости (техническая вода + продукты реакции). Вполне возможно, что кислотная обработка была недостаточна по временной продолжительности стимуляции матрицы пласта, что не позволило получить удовлетворительные результаты. За весь срок эксплуатации артинских отложений была отобрана только одна тысяча тонн нефти.

Такое расхождение между результатами испытания и фактическими данными эксплуатации скважин позволяет сделать вывод о существенной изменчивости свойств пород коллекторов артинских отложений на месторождении. Высокие дебиты в первоначальный период испытания вероятно всего были получены за счет трещиноватости коллектора. Однако особенности геологического строения залежи артинского горизонта (она литологически экранирована по всей площади) не позволяют компенсировать энергетическую характеристику залежи за счет водонапорной законтурной области. В этом случае работа пласта (пропластков) обеспечивается только упругим запасом коллектора, уменьшение объема которого при снижении пластового давления приводит к смыканию трещин и приток жидкости прекращается. При разработке данной залежи необходимо обеспечить поддержание пластового давления путем закачки воды и тщательно контролировать величины пластовых и забойных давлений на работающих скважинах.

Залежи нефти сакмарского яруса разрабатывались также только одной скважиной, пробуренной в 1971 г. При испытании получен приток безводной нефти дебитом 14,5 т/сут (пласты С_{м1}+С_{м2}+С_{м3}). При отдельном опробовании пласта С_{м3} получено приток безводной нефти дебитом 5,5 т/сут, что составляет практически 40 % от общего притока. Добыча нефти на объекте начата механизированным способом в декабре 2006 г. При расконсервации скважины не удалось получить дебит нефти, указанный в актах первого испытания скважины после бурения: дебит нефти составил 3,2 т/сут, обводненность 25 %. За первый год эксплуатации производительность скважины снизилась практически в два раза, при этом обводненность продукции оставалась практически на одном уровне (15–20 %). Наличие в продукции воды обусловлено расположением скважины в водонефтяной зоне на пласте С_{м3}.

В последующие годы эксплуатации дебит скважины по нефти уже не превышал 1 т/сут, составляя в среднем 0,5 т/сут при обводненности 20–30 %. С 2011 г. скважина была переведена в бездействующий фонд по причине слабого притока жидкости (менее 0,5 т/сут). За весь срок эксплуатации (2006–2011 гг.) добыто 1,4 тыс. т нефти. Снижение производительности скважины обусловлено геологическим строением залежей пластов С_{м2} и С_{м3} (литологически ограниченные), трещиноватостью коллекторов и низкими фильтрационно-емкостными свойствами пластов.

Результаты опытной разработки артинских и сакмарских отложений Копальнинского месторождения, показывают, что скважины вводятся в эксплуатацию с дебитом не выше 3–5 т/сут и в последующем снижаются практически в два раза в течение первого года эксплуатации, что обусловлено низкими фильтрационно-емкостными свойствами и смыканием трещин по причине ухудшения энергетического состояния залежей в условиях ограниченного объема без связи с законтурной водоносной областью.

Данные факты подтверждают возможность получения больших притоков нефти в первоначальный период, описанных в актах испытания перспективных объектов по скважинам в нефтенасыщенной части пластов. Однако это явление носит временный характер, поскольку обеспечивается только энергетикой и упругим запасом коллектора, способствующих фильтрации жидкости по открытым трещинам.

Лысьвенское месторождение. Лысьвенское месторождение открыто в 1971 г. по результатам поисково-оценочного бурения в пределах Юрюзано-Сылвинской депрессии. Промышленная нефтеносность установлена в нижнепермских отложениях и приурочена к карбонатным отложениям сакмарского (пласт С_м) и артинского (пласт А_р) возраста (табл. 4). Ввиду расположенности месторождения в районе с неразвитой инфраструктурой, а также низкой изученностью, месторождение в разработку не вводилось.

Фильтрационно-емкостные характеристики продуктивных пластов Лысьвенского месторождения изучались по единичным образцам керна, характеризующим эффективную часть разреза: коэффициент пористости изменяется в больших пределах от 1,5 до 16 % и в среднем составляет 10 %, а об изменении проницаемости сведения отсутствуют и представлено только среднее значение – 0,034 мкм².

Коллекторами залежи являются известняки органогенно-детритовые. Литологически сакмарский и артинский пласты представлены известняками органогенно-детритовыми, участками трещиноватыми. В пределах сакмарского пласта проницаемые разности пород развиты в виде прослоев различной толщины, неравномерно распределенных по всему разрезу.

Таблица 4 – Краткая геолого-физическая характеристика Лысьвенского месторождения

Параметры	Пласты	
	Ар	См
Площадь нефтеносности, тыс. м ²	9056	11075
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, м	0,77	3,0
Средняя нефтенасыщенность пласта, доли ед.	0,85	0,85
Проницаемость по керну/ промыслов. исследованиям, мкм ²	0,034/0,006	
Пористость, доли ед.	0,08	0,10
Коэффициент песчаности, доли ед.	0,11	0,068
Коэффициент расчлененности, ед.	1,0	5,0
Начальная пластовая температура, °С	18,6	18,6
Начальное пластовое давление, МПа	9,6	10,5
Давление насыщения, МПа	6,75	6,75
Вязкость нефти в пластовых условиях, МПа×с	1,16	1,16
Газосодержание, м ³ /т	143,5	143,5

В процессе испытания поисковых скважин нефтяные залежи сакмарского и артинского горизонта не разобщались и испытывались совместно. При опробовании нижнепермских карбонатных отложений (пласт Ар+См) в эксплуатационной колонне был получен приток нефти дебитом 2,7 т/сут и воды 4,0 м³/сут. После изоляции водоносной части пласта цементом и повторном освоении получен приток безводной нефти дебитом 2,0 т/сут.

Гидродинамические исследования выполнялись методом восстановления уровня (КВУ). Коэффициент проницаемости варьирует от 0,0002 мкм² до 0,008 мкм², составляя в среднем 0,006 мкм². Учитывая, что при опробовании пластоиспытателем артинских отложений притока нефти не получено, то вероятнее всего определенной при ГДИ эффективной проницаемостью охарактеризованы только сакмарские отложения. Состояние призабойной зоны скважины оценивалось как «загрязненное» и обусловлено бурением на глинистом растворе и проведением ремонтно-изоляционных работ, что подтверждалось положительным значением скин-фактора. Поэтому проницаемость по данным исследованиям носит недостоверный (оценочный) характер.

Опытная эксплуатация месторождения не проводилась, поэтому оценить добычной потенциал залежей и влияние на него трещиноватости не представляется возможным.

Учитывая высокую степень разбуренности нижнепермских отложений и особенности их геологического строения, данные месторождения остаются изучены не в полной мере: нет достаточно достоверных сведений о фильтрационно-емкостных характеристиках нефтенасыщенной части пластов, определенных в лабораторных условиях при исследовании кернового материала, а также по данным гидродинамических исследований скважин, не изучены свойства пластовых флюидов, не определено положение ВНК, а значит, отсутствует четкая граница залежей нефти.

Таким образом, отсутствует достаточный объем исходных данных для проектирования и формирования систем разработки данных отложений.

Принимая во внимание текущее состояние разработки залежей углеводородов на рассмотренных месторождениях и достигнутые значения КИН в геолого-физических условиях нижнепермских отложений, можно сделать вывод, что основную роль в фильтрации нефти в нижнепермских отложениях, по-видимому, играют трещины и их проницаемость.

Открытые промышленные залежи нефти артинского и сакмарского горизонтов индивидуальны по своему строению и довольно существенно отличаются как по особенностям строения резервуаров, так и типам залежей. Свойства пород-коллекторов литологически изменчивы как по площади, так и по разрезу. При этом на всех место-

рождениях в продуктивной части разреза нижнепермских отложений так или иначе отмечается трещиноватость, влияние которой на процесс разработки залежей также необходимо учитывать.

Быстрые темпы падения пластового давления подтверждает необходимость того, что разработка карбонатных отложений артинского и сакмарского возрастов должна производиться с поддержанием пластового давления. Однако следует контролировать величины пластовых и забойных давлений на работающих скважинах.

При бурении новых скважин на данные отложения рекомендуется включать в комплекс ГИС метод ЯМК (ядерно-магнитный каротаж), который фиксирует водородосодержание только флюида, без учета твердой фазы, что позволит более качественно определять тип флюида, насыщающего поровое пространство. Параллельно с традиционным комплексом ГИС проводить исследования микросканером (FMI), что позволит идентифицировать трещинные и кавернозные коллекторы.

В качестве методов воздействия на пласты с целью восстановления продуктивности добывающих скважин возможно рассматривать проведение кислотного ГРП с закреплением трещин пропантом. Данная технология успешно применяется на карбонатных коллекторах турнейско-фаменского возраста (пласты Т, Фм) и отложениях среднего карбона (пласты К, В1, В3В4 и Бш) Пермского края. Эффективность данного мероприятия гораздо выше, чем по сравнению с обычной технологией кислотного ГРП: темпы падения дебитов скважин практически в два раза ниже, чем при обычном КГРП.

Список литературы:

1. Лядова Н.А., Яковлев Ю.А., Распопов А.В. Геология и разработка нефтяных месторождений Пермского края. – М. : ОАО «ВНИОЭНГ», 2010. – 46 с.
2. Четина М.А, Александрова Т.В. Анализ распределения нефтегазоносности нижнепермских отложений на территории Пермского края // Материалы VIII Всероссийской конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых». Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2015. – С. 58–61.
3. Козлова И.А., Четина М.А., Колтырина Н.С. Анализ распространения пород-коллекторов в нижнепермском нефтегазоносном комплексе на территории Пермского края // Masters Journal (Журнал магистров). – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – С. 195–210.
4. Суетина Л.А., Пронина О.С. Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегод. науч. сес. Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2007 г., 21–25 апр. 2008 г. – Пермь, 2008. – С. 20–22.
5. Денк С.О. Работа «Геотехнология межблоково-проницаемых коллекторов нефти и газа». Том II г. Пермь. 2001 г.

DETERMINING THE BENDING INTENSITY THAT ENSURES THE FREE PASSAGE OF THE CURVED CONDUCTOR ASSEMBLY THROUGH THE CURVILINEAR BARREL

**Омарова А.Ш. гызы,
Aytan Sh. Omarova**

Azerbaijan State Oil and Industry University
Head of the laboratory
«Oil and Gas Engineering» Department
omarova-aytan@mail.ru

**Меджидова А.Н. гызы
Afaq N. Majidova**

Azerbaijan State Oil and Industry University
Laboratory assistant
«Oil and Gas Engineering» Department
mecidova.afaq@mail.ru

Аннотация. In the article, in order to determine the free passage of the drilling tool through the curved interval of inclined wells, taking into account its elasticity, the intensity of the increase in the zenith angle was calculated accordingly.

Ключевые слова: zenith angle, flexibility, drilling tool, interline interval.

The geometrical dimensions and the diameter of the bit along with the drill collar of the curved transmission downhole motor allow to determine in advance the minimum curvature radius of the well or the minimum bending intensity. When you start bending the vertical well with this assembly, it stops in the position shown in figure 1. In this case, the body of the engine or the drill collar rests on the upper wall of the well at point S and exerts pressure on it with the force F_S . However, as the zenith angle increases, after reaching a certain value, the body of the engine or the drill collar breaks off (separates) from the upper wall at point S of the well due to its own weight and sits on the lower wall at point D and exerts pressure on it with the force F_D . Depending on the seating of the drill collars on the upper and lower walls of the well, the expected value of the bending intensity that ensures the normal passage of the indicated system through the inclined well pipe will also be different.

In the first case, that is, when the tool touches the wall of the well at point S, let's determine the value of the bending intensity that ensures the normal transition of the curved conductive assembly. For this, let us assume that the bit 1, the downhole motor 2, the drill collar 4 placed on it touch the well wall 5 at points A, B and S and the zenith angle DBO has an increasing tendency along the circular arc.

Therefore, the increase of the zenith angle in the interval from point D to point B will be $\Delta\alpha_0$, and in the drilling interval BO will be $\Delta\alpha_1$.

We assume that the well wall is absolutely rigid against lateral forces, and the shape of the elastic bits of the assembly in the interval from the bit to the point where the drill collar touches the wall is as shown in Figure 1.

To solve this problem, the lower part of the bent-conductor fuel assembly can be viewed as a flexible beam mounted on three roller bearings.

Let's assume that the zenith angle accumulation intensity is $\Delta\alpha_k$.

The principle diagram of the transition of a curvilinear node from a curvilinear barrel.

In Figure 2, the following dependence can be written between the angles resulting from the deformation of the lower part of the drilling tool on the geometric dimensions of the assembly, the bending intensity and the curvature of the fuel in the section where the assembly is located with a curved conductor:

$$\theta'_B + \beta + \frac{\Delta\alpha_1}{2} + \frac{\Delta\alpha_0}{2} + \theta + \theta''_B, \quad (1)$$

here $\beta = \frac{D-D_x}{2L_T}$, $f = D - \frac{D_y+D_x}{2}$, D , D_x – the outer diameter of the bit and the curved conductor (mechanism), respectively, or if the downhole motor touches the wall of the

well; β – the inclination angle of the downhole motor with respect to the well bits; L_T – the length of the downhole engine with the bit to the bending mechanism; L – the distance from the curved conductor to where the assembly touches the wellbore wall; α – zenith angle; $\Delta\alpha_1$ – and $\Delta\alpha_0$ properly the increase of the zenith angle in the L_T and L interval; γ – the angle of curvature of the curved conductor; θ, θ'_B v θ''_B – O and B are the rotation angles of the bits of assembly at the supports.

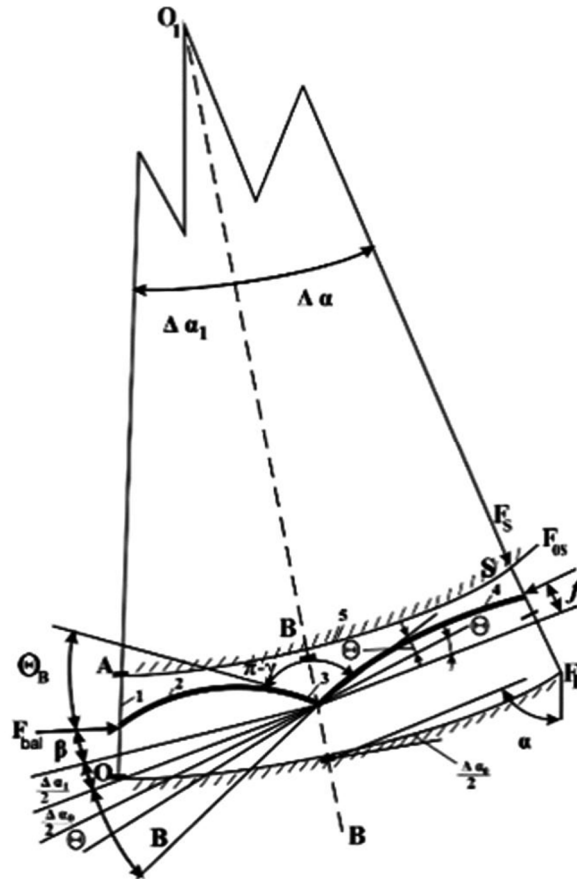


Figure 1.

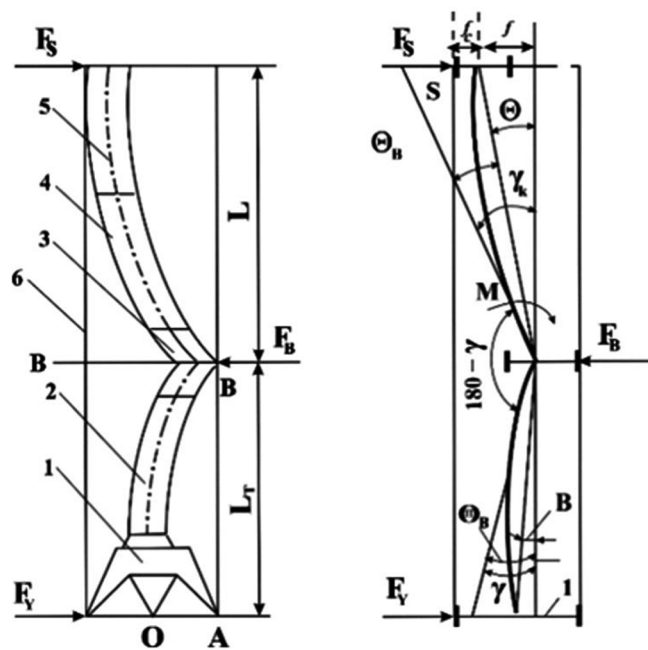


Figure 2 – 1 – bit; 2 – well bottom engine; 3 – curved conductor; 4 – drill collar; 5 – elastic bits of assembly; 6 – well wall

Assuming that $\Delta\alpha_1 = \Delta\alpha_k \cdot L_T$ and $\Delta\alpha_0 = \Delta\alpha_k \cdot L_T$ depending on the bending intensity ($\Delta\alpha_k$) and if we substitute the values of these quantities in the expression (1) to determine the bending intensity ($\Delta\alpha_k$) we get this equation:

$$\Delta\alpha_k = \frac{2}{L_T + L} (\gamma - \beta - \theta - \theta'_B - \theta''_B) \text{ degrees/meters} . \quad (2)$$

Since the quantities L , γ , θ'_B , θ''_B and θ in expression (2) are unknown, they must be determined.

Let's determine the quantities L , γ and θ for the case where the assembly with a curved conductor is located in a vertical barrel.

Results and discussion

When the shown system is located in a vertical wellbore, it undergoes elastic deformation and as a result, the bit is pressed against the well wall by the forces F_y and the drill collar by F_s . As a result of the presence of a curved conductor in the assembly and the arrangement of the assembly in a barrel with a limited diameter, an elastic moment M occurs in the section with a curved conductor, which causes the system to undergo elastic deformation. In this case, the situation where the assembly is located in the vertical wellbore can be considered as shown in figure 2. Taking the lower part of the assembly as a beam sitting on three absolutely rigid supports of different levels, determining the elastic moment M generated in the B-B section, the distance (L) from the bending plane to the point of the curved conductor, the fuel force F_y pressing the bit against the wall of the well, and the forces F_s pressing the drill collar against the wall can. If we consider the well wall to be absolutely rigid, then the value of the elastic bending moment M caused by the loads placed on the left side of the section B-B can be found with very little error from the following equation [79].

$$M = F_y L_T = F_s L, \quad (3)$$

here F_y – is the driving force (the force that presses the bit against the wall).

Layout of the bending assembly in a vertical well

To determine the driving force on the bit, the following relationship can be written between the angles of rotation resulting from the forces acting on the beam to the right and left of the B-B section and the angles resulting from the difference in the levels of the beam supports (i.e. for the case $\Delta\alpha_k = 0$).

$$\theta'_B + \theta''_B = \gamma - \theta - \beta, \quad (4)$$

here θ'_B , θ''_B – B-B are the turning angles of the beam on the left and right sides. If we ignore the weight of the downhole motor and the drill collar in the vertical barrel and the effect of the bit load applied to the bit, the turning angles θ'_B , θ''_B can be determined by the following formulas using known research works (4).

$$\begin{cases} \theta'_B = \frac{ML_T}{3EJ} \\ \theta''_B = \frac{ML}{3EJ_0} \end{cases}, \quad (5)$$

here EJ and EJ_0 – respectively the bending stiffness of the downhole motor and the drill collar placed on top of it; α – is the zenith angle.

To determine the distance L from the plane of curvature of the curved conductor to the point where the drill collar touches the top wall of the well, we write the equation of the beam angle θ at the support.

$$\theta = \text{tg}\theta = \frac{ML}{6EJ_0} = \frac{f}{L}. \quad (6)$$

If we solve equations (6) – (7) together, we get:

$$L = \frac{3f}{2\gamma_k} + \sqrt{\left(\frac{3f}{2\gamma_k}\right)^2 + \frac{2mfL_T}{\gamma_k}} = \frac{3f}{2\gamma_k} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{8m\gamma_k L_T}{9f}}\right). \quad (7)$$

$$M = \frac{6EJ_0 f}{L^2} = \frac{6EJ_0 \gamma_k}{3L + 2mL_T}, \quad (8)$$

here $\gamma_k = \gamma - \beta$; $m = \frac{EJ_0}{EJ}$; $f = D - 0,5(D_y + D_x)$.

To determine the angle of curvature of the bending mechanism (bend conductor), let's look at the parts BO and BS of the assembly as cantilever beams and use the deformation equations of the angles of rotation of the ends

$$\gamma_k = \text{tg}\gamma_k = \frac{F_y L_T^2}{2EJ} = \frac{ML_T}{2EJ}. \quad (9)$$

$$\gamma_k = \frac{F_s L^2}{2EJ_0} = \frac{ML}{2EJ_0}, \quad (10)$$

here F_s – is the force pressing the pipe against the wall at point S.

We can solve the equations (8) – (10) together and determine the curvature angle of the curved conductor.

$$\gamma = \beta + \frac{3f}{mL_T} = \frac{1}{L_T} \left[\frac{D - D_y}{2} + \frac{3}{m} \left(D - \frac{D_2 + D_x}{2} \right) \right]. \quad (11)$$

Substituting the value of the actual bending moment in the expression (11), we get the following equations to determine the propellant force F_y generated in the bit and the force F_s pressing the drill collar against the wall at point S.

$$F_y = \frac{M}{L_T} = \frac{6EJ_0 f}{L_T L^2}. \quad (12)$$

$$F_s = \frac{M}{L} = \frac{6EJ_0 f}{L^3}. \quad (13)$$

Conclusion

In order to determine the free passage of the drilling tool through the curved interval of inclined wells, taking into account its elasticity, the intensity of the increase in the zenith angle was calculated accordingly. Based on certain calculations, the free passage of the drilling tool through the curved interval is ensured.

References:

1. Hasanov I.Z. Controlling tilting of inclined wells. – Baku : Shirvan edition, 2006. – 135 p.
2. Drilling bush wells in marine conditions. РД 51-01-02-84. – Baku, 1984. – 74 p.
3. Instructions for drilling inclined wells. РД 39-2-810-83 // Тр. ВНИИВТ. – М., 1983. – 152 p.
4. Akhundov D.S., Hasanov I.Z. Drilling of oil and gas wells. – Baku, 2015.

УДК 622

**ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ СКВАЖИНЫ
КАК МЕТОД ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПАРАФИНООБРАЗОВАНИЯ****Орлова
Инна Олеговна****Кубанский государственный технологический университет**
доцент**Даценко
Елена Николаевна****Кубанский государственный технологический университет**
доцент**Чермит
Тимур Адамович****Кубанский государственный технологический университет**
студент**Орлов
Игорь Владиславович****Кубанский государственный технологический университет**
студент

Аннотация. Показано, что скорость роста отложений под воздействием магнитного поля уменьшается, при этом незначительно возрастает дебит скважин, магнитные обработки ПЗП являются перспективным направлением.

Ключевые слова: призабойная зона пласта, магнитные обработки, магнитное поле, эффективность.

Установлено, что под воздействием магнитного поля в движущейся жидкости происходит разрушение агрегатов, состоящих из субмикронных ферромагнитных микрочастиц соединений железа, находящихся при концентрации 10–100 г/т в нефти и попутной воде. В каждом агрегате содержится от нескольких сотен до несколько тысяч микрочастиц, поэтому разрушение агрегатов приводит к резкому (в 100–1000 раз) увеличению концентрации центров кристаллизации парафинов и солей и формированию на поверхности ферромагнитных частиц пузырьков газа микронных размеров.

В результате разрушения агрегатов кристаллы парафина выпадают в виде тонкодисперсной, объемной, устойчивой взвеси, а скорость роста отложений уменьшается пропорционально уменьшению средних размеров выпавших совместно со смолами и асфальтенами в твердую фазу кристаллов парафина. Образование микропузырьков газа в центрах кристаллизации после магнитной обработки обеспечивает, по мнению некоторых исследователей, газлифтный эффект, ведущий к некоторому росту дебита скважин.

В пласте и призабойной зоне скважины при достаточно высокой температуре основные компоненты отложений на внутренней поверхности НКТ (сера, парафин, асфальтены и смолы) растворены в основных углеводородных составляющих нефти и равномерно распределены по объему нефтеводяной эмульсии. При подъеме нефти по НКТ уменьшается ее температура и на некотором уровне она становится равной температуре кристаллизации этих компонентов. Естественно, что температура кристаллизации в первую очередь достигается у стенок НКТ, поэтому на их внутренней поверхности появляются центры кристаллизации. Кроме того, как установлено исследованиями, зародышеобразование интенсивнее происходит на границе раздела фаз, в данном случае на границе между жидкостью и твердым телом, и при одинаковой их температуре. Далее происходит активный рост кристаллов, в результате на стенках НКТ образуется достаточно твердый слой АСПО.

Совершенно очевидно, что источниками центров кристаллизации органических компонентов являются также соли, растворенные в воде. С понижением температуры при подъеме возможно достижение состояния пересыщения раствора и активной кристаллизации опять же на границе «жидкость – твердое тело», т.е. на стенках НКТ.

Образование центров кристаллизации может быть спонтанным или вызвано искусственным путем. На этот процесс влияют многие факторы: нерастворимые и растворимые примеси, механические воздействия, ультразвук, электрические и магнитные поля. Установлено, что под действием постоянного электрического поля максимумы на зависимости скорости зарождения центров кристаллизации от температуры смещают-

ся в сторону более низких температур. С увеличением электрической проводимости вещества влияние поля снижается.

Эффект воздействия переменного магнитного поля на образование центров кристаллизации зависит от его частоты. Так, с ее увеличением от 50 до 10000 Гц темп сдвига максимумов в область низких температур вначале растет, а затем убывает. Постоянное магнитное поле оказывает ориентирующее действие на молекулы жидкости. Установлено, что магнитное поле уменьшает скорость образования зародышей и сдвигает кривую их зарождения в область низких температур подобно постоянному электрическому полю. Переменное магнитное поле повышает число центров кристаллизации во всем температурном интервале. После образования в переохлажденной или пересыщенной системе частиц (зародышей), размер которых превышает критический, они начинают расти, превращаясь в частицы видимого размера. В настоящее время существует три теории, объясняющие рост кристаллов: поверхностного натяжения, диффузионная, адсорбционного слоя.

В добываемом продукте почти всегда очень много ферромагнетиков – веществ с большим магнитным моментом. Элементы оборудования скважины подвергаются электрохимическим процессам и механическому износу при трении деталей, а также абразивному – из-за наличия твердых частиц в потоке жидкости. Проведенный спектральный анализ отложений на МИОНах, проработавших в скважинах несколько месяцев, показывает наличие в них значительного количества железа. Так, в отложениях на одном МИОНе, работавшем в скважине одного из месторождений Когалыма, на приеме насоса на глубине около 2000 м содержится около 37 % железа, на втором МИОНе, установленном в этой же скважине на глубине 900 м, количество железа составляет около 30 %.

Магнитные свойства этих отложений отражают зависимости, приведенные на рисунке 1. В магнитном поле напряженностью около $400 \cdot 10^3$ А/м удельная намагниченность составляет $22 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$. Удельная намагниченность чистого железа равна $200 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$. В самом продукте концентрация этих частиц существенно меньше, но достаточна, чтобы в магнитном поле индуктора они слипались в результате магнитного взаимодействия и становились центрами кристаллизации компонентов АСПО.

При достаточном магнитном поле и времени воздействия в объеме продукта образуются крупные фрагменты АСПО, которые выносятся потоком из скважины. Величина магнитного поля и время воздействия определяется в первую очередь вязкостью добываемого флюида: чем больше вязкость, тем больше поле и время (иногда только время) необходимы для кристаллизации в объеме продукта.

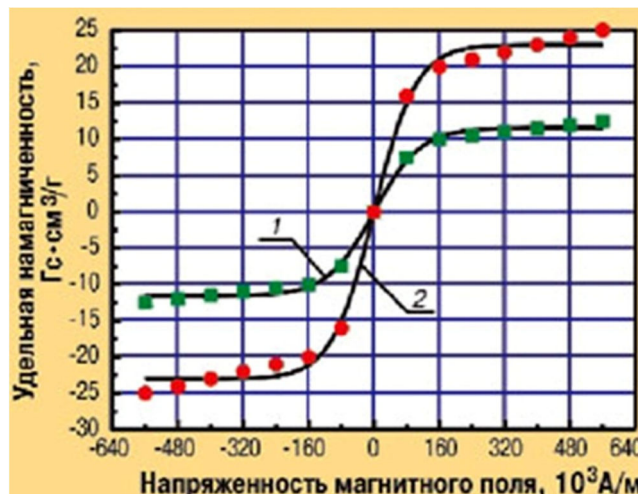


Рисунок 1 – Кривые намагничивания отложений на МИОН, установленном на глубине около 900 м(1) и 2000 м(2)

Анализ работы магнитных устройств, установленных в скважинах, показал, что успешность работы МИОН составляет примерно 50 %. Это обусловлено отсутствием научно-обоснованной методики подбора магнитных устройств к конкретным условиям скважины.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Орлова Инна Олеговна	Кубанский государственный технологический университет доцент
Даценко Елена Николаевна	Кубанский государственный технологический университет доцент
Чермит Тимур Адамович	Кубанский государственный технологический университет студент
Орлов Игорь Владиславович	Кубанский государственный технологический университет студент

Аннотация. Показаны стадии образования отложений, приведен обзор методов предотвращения и удаления АСПО, рассмотрено влияние температуры на процесс удаления отложений.

Ключевые слова: стадии, образование, отложения, парафин, тепловая энергия.

В настоящее время имеется большое количество публикаций по проблеме АСПО, и их объем продолжает расти. Это связано, с одной стороны, с разнообразием состава и свойств нефтей на различных месторождениях, а с другой стороны, с отсутствием универсальных способов и приемов, устраняющих проблему АСПО.

Предполагают две стадии образования и роста АСПО. Первой стадией является зарождение центров кристаллизации и рост кристаллов парафина непосредственно на контактирующей с нефтью поверхности. На второй стадии происходит осаждение на покрытую парафином поверхность более крупных кристаллов.

На образование АСПО оказывают существенное влияние:

- уменьшение температуры в пласте и стволе скважины;
- изменение скорости движения газожидкостной смеси и отдельных ее компонентов;
- снижение давления на забое скважины и связанное с этим нарушение гидродинамического равновесия газожидкостной системы;
- интенсивное газовыделение;
- состав углеводородов в каждой фазе смеси;
- соотношение объема фаз;
- состояние поверхности труб.

Интенсивность образования АСПО зависит от преобладания одного или нескольких факторов, которые могут изменяться по времени и глубине, поэтому количество и характер отложений не являются постоянными. Снижение температуры вызывает изменение агрегатного состояния компонентов, приводящее к образованию центров кристаллизации и росту кристаллов парафина. Характер распределения температуры по стволу скважины существенно влияет на парафинообразование и зависит от:

- интенсивности передачи тепла от движущейся по стволу скважины жидкости окружающим породам. Теплопередача зависит от градиента температур жидкости и окружающих скважину пород и теплопроводности кольцевого пространства между подъемными трубами и эксплуатационной колонной;
- расширения газожидкостной смеси и ее охлаждения, вызванного работой газа по подъему жидкости.

Одним из перспективных методов удаления АСПО является тепловой метод. Установка прогрева скважин УПС «Фонтан» предназначена для прямого прогрева внутреннего пространства насосно-компрессорных труб с помощью нагревательного

кабеля диаметром 20–25 мм, помещенного внутрь нефтедобывающих и газовых скважин при фонтанном, газлифтном и электромеханическом способе добычи, а также выкидных и магистральных трубопроводах с целью предотвращения образования АСПО и парафино-гидратных отложений в нефтяных скважинах, для снижения вязкости нефтяной эмульсии при добыче высоковязких и битумных нефтей, прогрева трубопроводов при транспортировке парафинистых и вязких нефтей. В этом случае нагревательный кабель помещается непосредственно внутрь НКТ или трубопровода, при этом КПД использования отдаваемой тепловой мощности составляет 90–95 %.



Рисунок 1 – Существующие методы предотвращения и борьбы с АСПО

В зависимости от типа скважин используют различные модификации УПС «Фонтан». На фонтанных, газлифтных и скважинах с УЭЦН применяется модификация УПС «Фонтан», где грузонесущий, нагревательный кабель спускается внутрь НКТ до максимальной глубины АСПО. В УПС «Фонтан-Н» используется плоский нагревательный кабель, располагающийся по наружной поверхности НКТ. Эта установка применима на скважинах с ШГН или, если требуется свободный лифт, например, для геофизических работ. Однако у такой конструкции есть существенный недостаток.

На рисунке 2 представлено распределение тепловых полей в скважинах с кабелем внутри НКТ и спущенного по наружной поверхности НКТ. В последнем случае используется только 20–25 % тепловой энергии выделяемой кабелем. Остальное уходит на прогрев межтрубного и околоскважинного пространства.

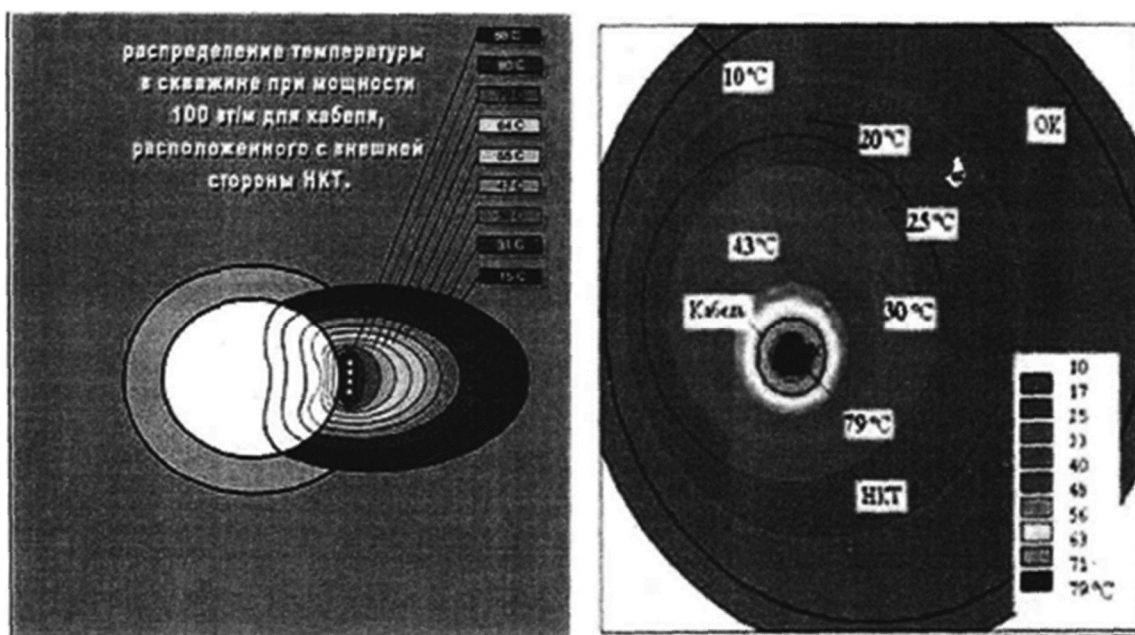


Рисунок 2 – Тепловые поля в скважинах при использовании греющего кабеля

УПС «Фонтан» прошла опытно-промышленные испытания на месторождениях ряда нефтяных компаний страны (НК «Лукойл», НК «Роснефть», ТНК-ВР) и, получив должную оценку своей эффективности, успешно применяется для депарафинизации скважин, оборудованных электроцентробежными насосами – ЭЦН, на фонтанирующих, газлифтных скважинах многих нефтедобывающих компаний. Кроме того, УПС «Фонтан» применяется для прогрева водяных скважин, расположенных в районах вечной мерзлоты. Установка эксплуатируется во всех климатических зонах, от юга до Крайнего Севера, решая задачу долговременной бесперебойной работы скважин, показав свою высокую экономическую эффективность.

Список литературы:

1. Кирбижекова Е.В. Особенности образования асфальтосмолопарафиновых отложений в эмульсиях высокопарафинистой нефти / Е.В. Кирбижекова, И.В. Прозорова, Н.В. Юдина // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2012. – № 1. – С. 80–86.
2. Чеботников В.А. Моделирование образования АСПО на стенках насоснокомпрессорных труб в зависимости от различных параметров режима работы / В.А. Чеботников, Р.М. Галикеев // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 4. – С. 44–47.
3. Иванова Л.В. Исследование состава асфальтосмолопарафиновых отложений различной природы и пути их использования / Л.В. Иванова, В.Н. Кошелев, О.А. Стоколос // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 2. – С. 250–256.
4. Ганеева Ю.М. Асфальтеновые наноагрегаты: структура, фазовые превращения, влияние на свойства нефтяных систем // Успехи химии. – 2011. – Т. 80. – № 10. – С. 1034–1050.

УДК 550.3

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕДЕЛЬНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕФТИ ПО КОМПЛЕКСУ НГК И ЯМК

**Пашаева
Шафагат Велиш**

**Азербайджанский Государственный Университет Нефти
и Промышленности**
ассистент
sh73.73@mail.ru

**Шабанов
Мехраб Ибадулла**

**Азербайджанский Государственный Университет Нефти
и Промышленности**
докторант
Mehrab.shabanov@mail.ru

Аннотация. Предложена методика оценки коэффициента предельного извлечения нефти по данным Ядерного магнитного каротажа (ЯМК). Методика может быть применена как в однородных, так и в неоднородных коллекторах, представленных чередованием проницаемых прослоев с глинистыми и плотными пропластками.

Ключевые слова: вязкость нефти, однородные коллектора, неоднородные коллектора, извлекаемые запасы нефти.

Содержащаяся в нефтеносном коллекторе нефть представлена несколькими компонентами (легкими фракциями, асфальтенами, смолами, парафинами), различающимися по вязкости. Каждый из этих компонентов характеризуется своим значением вязкости и предельной температурой, при которой он переходит в подвижное состояние. Высокая вязкость нефти делает невозможным вытеснение ее из пласта. Одновременно и ИСА такой нефти падает до нуля, вследствие чего вязкие компоненты нефти не вносят вклада в измеряемый ИСФ. Наряду с нефтью или газом в порах коллекторов может присутствовать битум, который также не вытесняется из пласта, а по данным стандартного комплекса ГИС не отличается от подвижной нефти. В этой связи при подсчете запасов он входит в общий объем нефти.

Как известно полнота извлечения нефти из пласта при его эксплуатации характеризуется коэффициентом извлечения.

$$K_{\text{изв}} = \frac{A_3 - A_{\text{изв}}}{A_3},$$

где A_3 и $A_{\text{изв}}$ – соответственно балансовые и извлекаемые запасы нефти.

В той мере, в какой процесс вытеснения пластового флюида фильтратом промывочной жидкости можно считать аналогом вытеснения нефти при разработке месторождения, коэффициент нефтенасыщенности и остаточной нефтенасыщенности пласта. Очевидно, что оба процесса не идентичны, так как поля градиентов давления при разработке и бурении различны. Кроме того в процессе разработки нагнетаемая в пласт жидкость может содержать ПАВ, которые улучшают условия вытеснения нефти. Тем не менее возможность определения невытесняемых углеводородов позволяет оценить предельный коэффициент извлечения $K_{\text{изв}}$ как долю всех подвижных (маловязких) компонентов углеводородов, содержащихся в коллекторе [1].

$$K_{\text{изв. пр}} = \frac{K_{\text{H}} - K_6}{K_{\text{H}}},$$

где K_6 – коэффициент битуминозности, учитывающий суммарное содержание всех высоковязких компонентов углеводородов (битум, смола, парафин), не вытесняемых при данной температуре из пласта. ИСА нефтей растет с увеличением температуры, то есть подвижность компонентов нефти возрастает и часть высоковязких компонентов переходит в подвижное состояние. Соответственно с ростом температуры в той или иной степени падает величина K_6 и растет $K_{\text{изв. пр}}$.

В таблице 1 наряду с коэффициентом предельного извлечения даны прогнозные коэффициенты предельного извлечения $K_{изв.пр}$ (T^0) при повышении температуры пласта до 80 °С для ряда пластов скважины 426 (месторождения Бинагады) которые характеризуются высокими значениями коэффициента битуминозности. Возможность прогнозирования коэффициента предельного извлечения при различной температуре пласта является важным фактором в определении оптимальных условий теплового воздействия на пласты при разработке месторождений вязкой нефти (рис.1).

Таблица 1 – Результат обработки данных ЯМК и методов ГИС по скв.426 Карадагского газохранилища

№	Интервал глубин, м	H, м	$K_{П}^{ЭФ}$ %	T_2^* , мс	$K_{П}^{НГК}$, %	$\frac{K_{П}^{ЭФ}}{K_{П}^{НГК}}$	K_B	K_H	K_T	Результат опробования
1	3251.5–3252.9	1.4	5.82	150	12.5	0.48			0.13	
2	3260.5–3261.5	1	6.13	180	10.5	0.6			0.08	
3	3262–3262.9	0.9	4.07	300	10.5	0.4			0.08	
4	3262.9–3265	2.1	5.38	300	10.5	0.51			0.08	
5	3277–3278.5	1.5	14.7	75	7.5	1.96	0.42	0.58	0.12	
6	3279–3280	1	12.2	55	7.5	1.62	0.51	0.49	0.08	
7	3281.8–3283	1.2	6.25	105	7.5	0.83	0		0.1	
8	3283.6–3285	1.4	14.6	55	7.5	1.94	0.42	0.58	0.10	
9	3286–3287.8	1.8	22.87	45	6.7	3.4	0.27	0.73	0.09	
10	3287–3288.9	1.1	22.61	35	6.7	3.37	0.28	0.72	0.10	Газ – 42.5 м ³ /с
11	3289–3293.5	4.5	10.43	65	6.7	1.55	0.60	0.40	0.11	Вода – 0.5 м ³ /с
12	3303–3304	1	4.04	480	8.3	0.5			0.36	

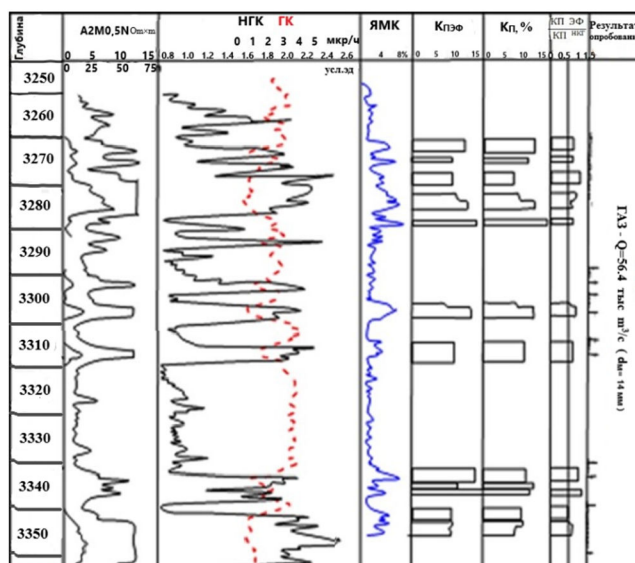


Рисунок 1 – Выделение газонасыщенных интервалов по результатам ЯМК и других видов ГИС по скважине 426 Карадагского подземного газохранилища

Выводы

Коэффициент предельного извлечения является функцией температуры пласта. Если известна зависимость ИСА высоковязких компонентов нефти от температуры, то тем самым можно прогнозировать степень увеличения коэффициента предельного извлечения при подогреве пласта.

Список литературы:

1. Аксельрод С.М., Даневич В.И., Запорожец В.М. Ядерный магнитные методы исследования. – М. : Недра, 1976. – 127 с.
2. Аксельрод С.М., Неретин В.Д. Ядерный магнитный резонанс в нефтегазовой геологии и геофизике. – М. : Недра, 1990. – 192 с.
3. Аксельрод С.М., Даневич В.И., Садыхов Д.М.Б. Ядерный магнитные исследования разрезов скважин в Азербайджане. – Баку, 1991. – 149 с.

УДК 622.654.45

ДИНАМИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ В КОЛОННЕ ЛИФТОВЫХ ТРУБ, ВОЗНИКАЮЩЕЕ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАБОТЫ ЗАБОЙНОГО ВИБРАТОРА

**Рагимова
Махлуга Сурхай**

**Азербайджанский Государственный Университет Нефти
и Промышленности**
кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика»

**Намазова
Гюльнара
Иззатуллаевна**

**Научно-исследовательский институт
«Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»**
научный сотрудник

**Сулейманов
Шахин Магамед**

**Научно-исследовательский институт
«Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»**
научный сотрудник

**Рзаева
Ханум Джамаладдин**

**Научно-исследовательский институт
«Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»**
научный сотрудник

Аннотация. Некоторые коллекторы насыщены трудно извлекаемыми нефтями, которые с одной стороны обладают низкими коллекторскими свойствами, то-есть пористостью и проницаемостью, а с другой стороны они насыщены тяжелыми нефтями, обладающими высокими динамическими вязкостями (когда нефти являются ньютоновскими жидкостями) или высокими структурными вязкостями (когда они являются вязко-пластичными жидкостями) в пластовых условиях. В таких месторождениях эксплуатационные скважины имеют невысокие дебиты нефти и газа и нагнетательные (инжекционные) водяные скважины имеют низкие водопоглотительные способности.

Ключевые слова: эксплуатация, коллекторские свойства, вибратор, насосно-компрессорные трубы, вибровоздействие.

При работе скважинного забойного вибратора на колонну насосно-компрессорных труб действуют силы тяжести колонны лифтовых труб и забойного вибратора и сила упругости материала колонны лифтовых насосно-компрессорных труб. Когда определяется динамическое напряжение колонны лифтовых труб, тогда можно пренебречь этими силами и в качестве уравнения колебания колонны лифтовых труб можно рассматривать дифференциальное уравнение свободного колебания струны, то-есть:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} . \quad (1)$$

Принимая в качестве начала системы координат место соединения забойного вибратора с колонной лифтовых труб, ось абсцисс Ox нужно направить к устью скважины и считая, что на устье скважины не действует сила сцепления, решение уравнения (1) можно искать при следующих граничных условиях:

$$U(x, t)|_{x=0} = 0, \quad (2)$$

$$ES_n \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x=0} = F_0 \sin \omega t, \quad (3)$$

здесь $U(x, t)$ – упругое продольное перемещение; E – модуль упругости материала лифтовых насосно-компрессорных труб; x – координата; t – время; S_T – площадь кольцевого сечения труб; l – длина колонны труб на глубине спуска забойного вибратора; F_0 – амплитуда силы, действующей на поверхность поршня забойного вибратора; ρ_T – линейная плотность труб; ω – циклическая частота.

$$a^2 = \frac{F_0}{\rho T}.$$

Принимаем метод разделения переменной, т.е. метод Фурье, определяем, что решение уравнения (3) можно искать так:

$$U(x,t) = \left(A \cos \frac{\omega}{a} x + B \sin \frac{\omega}{a} x \right) (E \cos \omega t + D \sin \omega t). \quad (4)$$

Учитываем условия (1), (2), получаем:

$$U(t,0) = A(E \cos \omega t + D \sin \omega t) = 0. \quad (5)$$

Отсюда получаем:

$$\left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{x=0} = B \frac{\omega}{a} (E \cos \omega t + D \sin \omega t) = \frac{F_0}{EA_1} \sin \omega t. \quad (6)$$

Ввиду того, что $U(t,x) \neq 0$ за период работы забойного вибратора, исходя из выражений (3) и (4):

$$A = 0. \quad (7)$$

Из выражения (5) имеем:

$$B \cdot E = 0 \text{ и } B \cdot D = \frac{F_0 a}{EA_1 \omega}. \quad (8)$$

Ввиду того, что значения величин A и B одновременно не могут превратиться в нуль, так как при этом $U(t,x) = 0$, исходя из выражения (7) $E = 0$.

Таким образом, решением задачи (2.34) – (2.36) будет:

$$U(t,x) = \frac{F_0 a}{EA_1 \omega} \sin \frac{\omega}{a} x \sin \omega t. \quad (9)$$

Из выражения (8) выходит, что если бы на устье скважины колонна лифтовых труб не была бы закреплена, то будем иметь:

$$U(t,l) = \frac{F_0 a}{EA_1 \omega} \sin \frac{\omega}{a} l \sin \omega t. \quad (10)$$

Значение динамического напряжения в колонне лифтовых труб определяется из следующего выражения:

$$\sigma(t,x) = E \frac{\partial U(t,x)}{\partial x} = \frac{F_0}{S_t} \cos \frac{\omega}{a} x \sin \omega t. \quad (11)$$

В таком случае, на устье скважины при $x = l$ будет:

$$\sigma(t,l) = \frac{F_0}{S_t} \cos \frac{\omega}{a} l \sin \omega t. \quad (12)$$

В точке скрепления забойного вибратора, при $x = 0$ имеем:

$$\sigma(t,0) = \frac{F_0}{S_t} \sin \omega t. \quad (13)$$

Из выражений (11) и (12) выходит, что когда забойный вибратор работает, динамическое напряжение, создаваемое вибратором в колонне лифтовых труб, со временем удаления от точки скрепления вибратора уменьшается, и на устье скважины принимает наименьшее значение.

На устье скважины при $x = l$, будем иметь:

$$\sigma_{max}(t,l) = \frac{F_0}{S_t} \cos \frac{\omega}{a} l. \quad (14)$$

В точке скрепления забойного вибратора при $x = 0$, будет:

$$\sigma_{max}(t,0) = \frac{F_0}{S_t}. \quad (15)$$

Из выражений (13) и (14) выходит, что на промышленной практике для обеспече-

ния устойчивости конструкции, связанной с выбором геометрических размеров забойного вибратора, в качестве максимального динамического напряжения, возникаемого в колонне лифтовых труб, нужно пользоваться такими значениями, которые получаются в результате вычисления формулой (14).

Скажем, что при спуске поршня забойного вибратора на расстояние h (амплитуда колебания поршня вибратора) давление рабочей жидкости (в связи с открытием боковых окон забойного вибратора) уменьшается от значения P_0 до значения $P_1 (P_0 > P_1)$, тогда уменьшается также динамическое напряжение колонны лифтовых насосно-компрессорных труб. По этой причине, поскольку процесс периодически повторяется, то для нахождения максимального значения динамического напряжения колонны лифтовых труб достаточно установить её максимальное значение динамического напряжения лишь только при спуске поршня забойного скважинного вибратора.

Если учтем, что когда забойный вибратор работает, его поршень опускается на глубину h , то $\max F_0 = C \cdot h$, отсюда, в силу работы [2, 4], получим:

$$\max F_0 = \frac{4P \left(P - \rho \frac{Q}{S_n} \cdot C_0 \right) \cdot S_n}{2P - \rho \frac{Q}{S_n} \cdot C_0}. \quad (16)$$

Таким образом, из выражений (15) и (16), получим:

$$\sigma_{\max} = \frac{4P \left(P - \rho \frac{Q}{S_n} \cdot C_0 \right) \cdot S_n}{\left(2P - \rho \frac{Q}{S_n} \cdot C_0 \right) S_T}. \quad (17)$$

Ввиду того, что при подъеме поршня вверх за счет силы сжатия пружины, давление рабочей жидкости при открытии выбросных окон уменьшается, также динамическое напряжение в колонне лифтовых насосно-компрессорных труб, то-есть:

$$\sigma_{\max} = \frac{4P \left(P - \rho \frac{Q}{S_n} \cdot C_0 \right) \cdot S_n}{\left(2P + \rho \frac{Q}{S_n} \cdot C_0 \right) S_T}. \quad (18)$$

При соблюдении всех остальных критериев основным фактором, обуславливающим эффективность вибровоздействия на пласт, является обеспечение результативности вибровоздействия при заданных гидродинамических параметрах обрабатываемых зон пласта. При этом основная задача заключается в том, что при заданных параметрах забойный вибратор конструктивно должен обеспечить генерацию волновой энергии, достаточной для улучшения фильтрационных свойств пласта.

Список литературы:

1. Влияние вибровоздействия на устойчивость межфазной границы системы «углеводородная жидкость-вода» / М.Т. Абасов [и др.] // Фундаментальные проблемы разработки нефтегазовых месторождений, добычи и транспортировки углеводородного сырья. Материалы Международной конференции 24–26 ноября 2004 г., г. Москва. – М. : ГЕОС. – С. 247–248
2. Вибросейсмическое воздействие на нефтяные пласты с земной поверхности / Б.Ф. Симонов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 56–64.
3. Особенности поведения углеводородных жидкостей в поле упругих волн / М.Т. Абасов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 3. – С. 48–58.
4. Особенности влияния вибровоздействия на коэффициент извлечения нефти водой из пластов / М.Т. Абасов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 56–64.

ОСОБЕННОСТИ УСТРАНЕНИЯ УСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Рагимова
Махлуга Сурхай**

**Азербайджанский Государственный Университет Нефти
и Промышленности**
кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика»

**Намазова
Гюльнара
Иззатуллаевна**

**Научно-исследовательский институт
«Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»**
научный сотрудник

**Сулейманов
Шахин Магамед**

**Научно-исследовательский институт
«Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»**
научный сотрудник

**Рзаева
Ханум Джамаладдин**

**Научно-исследовательский институт
«Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»**
научный сотрудник

Аннотация. В статье рассмотрена задача о том, что трещина, постепенно развиваясь и ослабляя сечение, вызывает в некоторый момент времени внезапное разрушение детали, которое нередко бывает связано с авариями и весьма тяжелыми последствиями. Эти сдвиги можно наблюдать с помощью металлографического микроскопа. Можно видеть развитие следов сдвига на разных стадиях циклического нагружения образцов из чистого никеля. Первые линии сдвига появляются в отдельных зернах уже на ранних стадиях нагружения, составляющих по числу циклов 10 % от общей долговечности образца до разрушения.

Ключевые слова: трещина, долговечность, циклическое нагружение, металлографический микроскоп, напряжение.

Большинство деталей машин (валы, шестерни, болты, рамы, упругие элементы и т.д.) в процессе работы подвергаются воздействию напряжений, переменных во времени. Если уровень переменных напряжений превосходит определенный предел, то в материале деталей происходит процесс постепенного накопления повреждений, который приводит к образованию субмикроскопических трещин. Длина этих трещин увеличивается, затем они объединяются, образуя первую макроскопическую трещину, под которой понимается трещина протяженностью 0,1–0,5 мм. У корня этой трещины возникает местное увеличение напряжений, называемое концентрацией напряжений, которое облегчает ее дальнейшее развитие. Трещина, постепенно развиваясь и ослабляя сечение, вызывает в некоторый момент времени внезапное разрушение детали, которое нередко бывает связано с авариями и весьма тяжелыми последствиями. Указанный процесс постепенного накопления повреждений в материале детали под действием переменных напряжений, приводящих к изменению свойств материала, образованию, развитию трещин и разрушению детали называют усталостью материала.

Для изучения физической природы процесса усталостного разрушения применяют микроскопические, электроноскопические, рентгеновские, калориметрические и поляризационно-оптические методы, а также измеряют твердость материала в процессе усталости, рассеяние энергии, плотность дислокаций и т.д.

Механизм процесса усталостного разрушения металлов неразрывно связан со структурной неоднородностью, заключающейся в случайных вариациях размеров и очертаний отдельных кристаллитов (зерен) металла, направлений их кристаллографических плоскостей, в наличии различных фаз, включений, дефектов кристаллической решетки (вакансий, дислокаций) и т.д. Вследствие указанной неоднородности при переменных напряжениях, даже не превосходящих предел пропорциональности, в отдельных неблагоприятно ориентированных зернах начинается циклическая пластиче-

ская деформация, которая связана с циклическими деформациями сдвига по определенным кристаллографическим плоскостям.

Результаты этих сдвигов можно наблюдать с помощью металлографического микроскопа. Можно видеть развитие следов сдвига на разных стадиях циклического нагружения образцов из чистого никеля. Первые линии сдвига появляются в отдельных зернах уже на ранних стадиях нагружения, составляющих по числу циклов 1–10 % от общей долговечности образца до разрушения.

По мере накопления числа циклов количество линий сдвига увеличивается, они расширяются, переходят на другие зерна.

При этом циклическая пластическая деформация и образование линий сдвигов происходит почти во всех зернах металла. Развитие следов сдвига по мере накопления числа циклов на образцах из мягкой стали при амплитудах напряжений ниже предела выносливости. Характерным для этого случая является то, что следы сдвига образуются лишь в отдельных неблагоприятно ориентированных зернах и не переходят на другие зерна даже после значительного количества циклов. Образования макроскопической трещины усталости и разрушения при этом не происходит.

На циклическую пластическую деформацию в отдельных зернах металла при напряжениях, не превосходящих пределы выносливости и пропорциональности, затрачивается определенная энергия, и образуется петля упругого гистерезиса. Площадь петли, пропорциональная энергии, затрачиваемой за один цикл на пластическую деформацию в отдельных зернах, характеризует рассеяние энергии в материале при циклическом нагружении. Изучение зависимости площади петли гистерезиса от уровня амплитуды напряжений, числа циклов, состояния материала, температуры и других факторов позволяет глубже понять механизм усталостного разрушения и создает предпосылки для разработки энергетических трактовок закономерностей усталостного разрушения.

Образование первых следов сдвига начинается, как правило, на поверхности образца вследствие облегченных условий деформирования зерен в этой зоне и наличия концентрации напряжений от микронеровностей поверхности.

На различных стадиях испытания образцы подвергались электрополировке со снятием слоя толщиной около 2 мкм. Электрополировка после $0,27 \cdot 10^8$ циклов (7,5 % от общей долговечности образца) привела почти к полному удалению линий сдвига. Это свидетельствует о том, что на данной стадии деформирования глубина проникновения следов сдвига не превышала 2 мкм. После $1,56 \cdot 10^6$ циклов многие следы сдвига при удалении электрополировкой слоя толщиной 2 мкм исчезли, однако ряд линий сдвига, названных устойчивыми, сохранился. Их глубина превышала 2 мкм. После $2,8 \cdot 10^6$ циклов некоторые устойчивые следы сдвига переходят на соседние зерна и при окончательном разрушении при $3,65 \cdot 10^6$ циклов сильно разрастаются, превращаясь в усталостную трещину. Эти испытания показывают, что начальные усталостные повреждения концентрируются в тонком поверхностном слое. Было проведено исследование, в котором через каждые 25 % долговечности исходного образца электрополировкой удалялись все устойчивые следы сдвига, после чего испытание образца продолжалось. В результате суммарная долговечность образцов значительно превысила исходную.

Таким образом, из-за устойчивых следов сдвига, экструзий и интрузий, а также вследствие других механизмов, как правило, на поверхности образца зарождается начальная макроскопическая трещина усталости. Весьма малую локальную зону, близкую к точке, в которой образуется первая трещина и откуда начинается ее развитие, называют фокусом усталостного излома. Обычно фокус излома располагается на поверхности в местах концентрации напряжений или поверхностных дефектов в виде царапин, трещин, неметаллических включений и т. п. При наличии внутренних дефектов или при поверхностном упрочнении (например, при цементации, азотировании и т.д.) фокус излома может располагаться и на некоторой глубине от поверхности образца.

Очагом разрушения называют весьма малую зону, прилегающую к фокусу излома и соответствующую начальной макроскопической трещине усталости. Зона излома в области очага разрушения обычно характеризуется наибольшим блеском и наиболее гладкой поверхностью по сравнению с другими участками излома. Усталостные линии на поверхности очага разрушения обычно отсутствуют. На усталостном изломе могут быть и несколько очагов разрушения. Одновременное возникновение нескольких таких очагов свойственно большим напряжениям, соответствующим ограниченной долговечности по

кривой усталости. Правильное выявление очагов разрушения при анализе усталостных изломов имеет важное значение при установлении причины разрушения.

Участок избирательного развития соответствует зоне развившейся трещины усталости. Эта зона имеет гладкую блестящую поверхность, на которой видны характерные признаки излома. Степень блеска и шероховатость поверхности усталостной трещины бывают различными. Более блестящая (наименее шероховатая) поверхность получается при малых перегрузках, при которых скорость распространения трещины мала, а время ее развития велико. Гладкий и блестящий вид поверхности усталостной трещины возникает не от трения и наклепа вследствие притирания смежных поверхностей трещины, как полагали ранее, а связан с микроизбирательностью распространения усталостной трещины. В зоне избирательного развития обычно видны характерные усталостные линии, имеющие волнообразный вид и расходящиеся от очага разрушения как из центра. Усталостные линии являются следами фронта продвижения трещины. Появление этих линий часто связано с некоторым изменением направления развития трещин, вследствие чего образуется небольшой уступ, выявляемый только при профилографировании. Другой причиной появления усталостных линий является изменение шероховатости поверхности излома при изменении степени перегрузки в процессе эксплуатации. Форма усталостных линий зависит от формы детали и характера ее нагружения.

Часто в деталях может зародиться несколько трещин усталости из разных фокусов. В этом случае начальные трещины располагаются параллельно одна другой.

В результате последующего их слияния на поверхности излома образуются ступеньки и рубцы. Чем выше уровень действующих напряжений, тем большее количество очагов зарождения трещин усталости, тем большее число ступенек и рубцов появляется на поверхности излома.

Направление развития первоначальной трещины может измениться, при этом образуются зародыши пасынковых трещин, развивающихся в другом направлении. От слияния пасынковых трещин образуются вторичные ступеньки и рубцы.

Участок ускоренного развития является переходной зоной между участком собственно усталостного развития трещины и зоной долома. Эта зона образуется в течение нескольких циклов, предшествующих окончательному разрушению.

Зона долома образуется на последней стадии излома и обладает признаками макрорухкого разрушения. Изучение формы и свойств поверхности усталостных изломов дает возможность в ряде случаев судить о характере усилий, вызвавших разрушение, о степени перегруженности сломавшейся детали и т.д., что позволяет правильно определить причину, вызвавшую разрушение детали и наметить мероприятия по предотвращению повторных разрушений. Развитие трещины после образования ее зародыша зависит от характера распределения напряжений. Если условия возникновения трещины зависят в основном от касательных напряжений, то ее развитие связано в большинстве случаев с влиянием нормальных напряжений. При действии переменного напряжения (растяжения-сжатия или изгиба) трещина развивается по поверхности действия наибольших нормальных напряжений.

Список литературы:

1. Kərimov Z.H. Maşın hissələri , yükqaldırıcı və nəqlədici maşınlar. – Bakı : Maarif. – 420 s.
2. Kerimov S.H., Mamed-Zade O.A. Untersuchung des Ermüdungszustan desk von Maschinenelementen wahreud des Betriebes mit Hieefe der gaeevanisehen Verkupferung // Maschinenbautechnik, Berlin 32, 1983 4, S 180–182, 6 Bilder, Tafel, 5 lit.
3. Кочанов Л.М. Основы механики разрушения. – М., 1974. – 206 с.
4. Давид Бреек. Основы механики разрушения. – М., 1980. – 368 с.
5. Черепанов Г.П., Ершов Л.В. Механика разрушения. – М., 1977. – 224 с.
6. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. – М. : «Машиностроение», 1975.
7. «ТЕХНОМИР». Каталог оборудования. – URL : www.tehnomir.com
8. «ПЕТРОЙЛ СПб спецтехника для нефтяных компаний. – URL : www.petroil.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЕЛИЧИН МЕЖКОЛОННЫХ ДАВЛЕНИЙ ДЛЯ ЦЕМЕНТНОГО КОЛЬЦА

**Рогов
Евгений Анатольевич**

Научно-исследовательский институт природных газов
и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
rogov.rea@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен расчет предельно допустимой величины межколонного давления для цементного камня в межколонном пространстве скважины.

Ключевые слова: скважина, цементный камень, межколонное давление.

Исходя из длительного опыта эксплуатации скважин Астраханского ГКМ установлено, что величина межколонных давлений в устьевой зоне может достигать значений:

- при нефтегазопроявлении (филипповского горизонта) до 32,5 МПа;
- при газопроявлении (башкирского яруса) до 40,5 МПа.

Работа цементного камня в кольцевом пространстве между эксплуатационной и второй промежуточной колоннами, имеющем межколонное давление, представляет собой классический пример трехосного сжатия материала в результате равномерного распределения напряжений в замкнутой системе ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$) независимо от глубины расположения рассматриваемого интервала. Теоретические расчеты и натурные исследования показали, что цементный камень, находясь в обойме, обладает высокой трещино-устойчивостью и не может подвергнуться раздроблению или обрушению. Развитие высоких напряжений в камне при появлении МКД может вызвать уплотнение и переуплотнение цементного камня, но и в этом случае он будет продолжать работать в области упругих деформаций [1–4].

В отличие от цементного камня в кольцевом пространстве между эксплуатационной и второй промежуточной колоннами, камень между первой и второй промежуточными колоннами работает в условиях двухосного сжатия, поскольку взаимодействие обсадных колонн и заключенного между ними цементного кольца осуществляется таким образом, что их осевые деформации равны нулю (плоская деформация)

Предельно допустимая величина МКД для цементного камня за второй промежуточной колонной определится из равенства:

$$\sigma_2 \geq P_{\text{МК}} \cdot K + 10^{-6} \cdot g \cdot (p_1 - p_2) \cdot L, \quad (1)$$

где σ_2 – предел прочности цементного камня при двухосном сжатии, $P_{\text{МК}}$ – величина МКД на устье скважины, K – коэффициент разгрузки цементного кольца, p_1 – плотность межколонного флюида, p_2 – плотность воды затворения тампонажного раствора; L – глубина.

Из выражения (1), предельно допустимая величина МКД для цементного камня в пространстве между первой и второй промежуточными колоннами на глубине H составит:

$$P''_{\text{МК(ЦК)}} = (\sigma_2 + 10^{-6} \cdot g \cdot (p_1 - p_2) \cdot L) / K. \quad (2)$$

Как показывают результаты экспериментальных исследований, при двухосном сжатии предел прочности цементного камня σ_2 по сравнению с одноосным σ_1 повышается в среднем на 30 %, т.е.

$$\sigma_2 = 1,3\sigma_1. \quad (3)$$

Предельно допустимая величина МКД для цементного кольца в приустьевой зоне ($H = 0$), исходя из формул (2) и (3) будет определена:

$$P'_{\text{МК(ЦК)}} = 1,3\sigma_1/K, \quad (4)$$

в том числе для случая отсутствия цементного камня в кольцевом пространстве (недоподъем цементного раствора, седиментационные процессы при твердении и т.п.), т.е. при $K = 1$:

$$P'_{\text{МК(ЦК)}} = 1,3\sigma_1. \quad (5)$$

Предельно допустимая величина МКД для цементного кольца, расположенного ниже башмака первой промежуточной колонны, т.е. контактирующего с массивом горных пород, определится по формуле:

$$P'''_{\text{МК(ЦК)}} = P_{\text{max}}/K, \quad (6)$$

где P_{max} – максимальное давление обсадной трубы, при котором не происходит растрескивание цементного кольца.

В свою очередь, P_{max} определяется по известной формуле А.М. Руцкого [5]:

$$P_{\text{max}} = (E \cdot \varepsilon \cdot [(D - d)^2 - 1])/2, \quad (7)$$

где E – модуль упругости металла обсадной трубы, ε – предельная окружная деформация наружной поверхности второй промежуточной колонны, D – наружный диаметр второй промежуточной колонны, d – внутренний диаметр второй промежуточной колонны.

Предельная окружная деформация наружной поверхности второй промежуточной колонны и, следовательно, внутренней поверхности цементного кольца, с учетом поправки на неупругие деформации цементного камня, составляет [5]:

$$\varepsilon = 1,25\varepsilon_r, \quad (8)$$

где ε_r – предельная деформация цементного камня.

Подставляя формулы (7) и (8) в формулу (6), получим:

$$P'''_{\text{МК(ЦК)}} = (1,25E \cdot \varepsilon_r \cdot [(D - d)^2 - 1])/2. \quad (9)$$

Ниже приводится пример расчета предельно допустимой величины МКД для цементного камня в МКП скважины Астраханского ГКМ (данные для расчета представлены в табл. 1).

Таблица 1 – Исходные данные для расчета предельно допустимой величины МКД для цементного камня

Показатели	Величина
Наружный диаметр второй промежуточной колонны (D), м	0,2445
Внутренний диаметр второй промежуточной колонны (d), м	0,2205
Модуль упругости металла обсадных труб (E), МПа	$211 \cdot 10^3$
Глубина спуска первой промежуточной колонны (L), м	2000
Коэффициент разгрузки цементного кольца (K)	0,3
Предел прочности цементного камня при сжатии (σ), МПа	20
Предельная деформация растяжения цементного камня (ε_r)	$3 \cdot 10^{-4}$
Плотность межколонного флюида (ρ_1), кг/м ³	1220
Плотность воды затворения тампонажного раствора (ρ_2), кг/м ³	1180

В соответствии с формулой (4) предельно допустимая величина МКД для цементного камня в приустьевой зоне составит:

$$P'_{\text{МК(ЦК)}} = 1,3 \cdot 20 / 0,3 = 86,6 \text{ МПа.}$$

При отсутствии цементного камня за эксплуатационной колонной в соответствии с формулой (3):

$$\sigma_2 = 1,3 \cdot 20 = 26 \text{ МПа.}$$

Предельно допустимая величина МКД для цементного камня в зоне башмака первой промежуточной колонны, согласно формуле (2), определяется из выражения

$$P''_{\text{МК(ЦК)}} = (26 + 10^{-6} \cdot 9,81(1220 - 1180) 2000/0,3 = 84,1 \text{ МПа.}$$

Предельно допустимая величина МКД для цементного камня, расположенного ниже башмака первой промежуточной колонны, согласно формуле (9) составит:

$$P'''_{\text{МК(ЦК)}} = [1,25 + 211 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \cdot (0,2245 - 0,2205)^2 - 1] / 2 \cdot 0,3 = 30,2 \text{ МПа.}$$

Вывод. Предельно допустимая величина МКД при нормально зацементированной эксплуатационной колонне (до устья) $\leq 30,2$ МПа.

Список литературы:

1. Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине. – М. : Недра, 1990. – 409 с.
2. Стольников В.В., Литвинова Р.Е. Трещиностойкость бетона. – М. : Энергия, 1972. – 113 с.
3. Булатов А.И. Управление физико-механическими свойствами тампонажных систем. – М. : Недра, 1976. – 248 с.
4. Рогов Е.А. Буферная жидкость для цементирования скважин на подземных хранилищах газа // Газовая промышленность. – 2014. – № 3. – С. 60–62.
5. Руцкий А.М. Предельная деформация растяжения – показатель неразрушимости тампонажного камня в скважине // Технология крепления скважин: ВНИИКР-нефть, 1977. – Вып. № 13. – С. 37–39.

УДК 624.131

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОРАДАРНОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ЗОН В ПРЕДЕЛАХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ АВТОСТРАДЫ

Сайганов А.А.

Кубанский государственный университет

Шкирман Н.П.

ООО «Краснодарспецгеофизика»

Аннотация. Георадарная съемка, выполненная на участке автострaды, позволяет составить детальное представление о строении верхней части разреза и что более важно, о состоянии так называемой «дорожной подушки» и с высокой детальностью выполнить оценку степени ее нарушенности.

Ключевые слова: георадарные исследования, «дорожная подушка», волновая картина, степень нарушенности, ослабленные зоны.

Нагрузка на транспортные магистрали, в наш век бурного развития промышленных технологий, активного товарообмена и разветвленной логистики, значительно возросла. В летнее время года в южных регионах страны, местах локации основных санаторно-курортных центров, нагрузка на транспортные магистрали возрастает кратно.

Поэтому надежность автодорожных покрытий является одним из основных обязательных факторов их эффективного использования.

В связи с постоянно растущими требованиями к качеству и надежности инженерных транспортных сооружений уже на стадии проектирования любого из таких объектов выполняются комплексные геофизические исследования, которые являются неотъемлемой частью инженерно-геологических изысканий [1].

Актуальность проведения геофизических исследований обусловлена такими их особенностями как скорость выполнения, возможность дистанционных и неразрушающих исследований, высокая разрешающая способность, сравнительно небольшая стоимость. За последние десятилетия широкое распространение в строительной отрасли получили электромагнитные методы геофизических исследований в различных модификациях. Наиболее востребованными среди них являются методы георадиолокации (GPR) и электротомографии (ЭТ).

На участке одной из автодорог в Крыму летом 2021 года возникла аварийная ситуация, проявившаяся в виде разрыва и обвала дорожного покрытия. Необходимо было оперативно уточнить размеры аварийной площадки и локализовать ее местоположение в плане и по вертикали, определить причину возникшей ситуации, а также предложить меры по устранению аналогичных ситуаций в будущем.

Изыскательское предприятие ООО «Краснодарспецгеофизика» по просьбе Заказчика выполнило GPR-исследования на аварийном участке дороги. Обязательным условием решения поставленной задачи являлось выполнение работ в кратчайшие сроки, для того, чтобы избежать нарушения напряженного летнего графика дорожного движения. Указанные требования Заказчика были выполнены. Полевые работы, обработка материалов и выдача Заключения были осуществлены в течение трех дней.

Всего на этом участке отработано 22 георадарных профиля, из которых 7 являлись продольными, проходящими вдоль дорожного полотна, протяженностью от 100 до 200 метров и 15 поперечных, пересекающих дорогу, протяженностью ~12–15 м каждый (рис. 1). Общий объем исследований составил 1065 метров,

На приведенной схеме, совмещенной с картой рельефа, помимо профилей георадарной съемки (черный цвет), показано положение коллектора, пересекающего данную автострaду (две красные параллельные линии), а также собственно область провала (зеленый овал). Сразу же было высказано предположение, что именно протечка указанного коллектора и послужила первопричиной образования просадки грунта и последующего разрыва дорожного полотна.

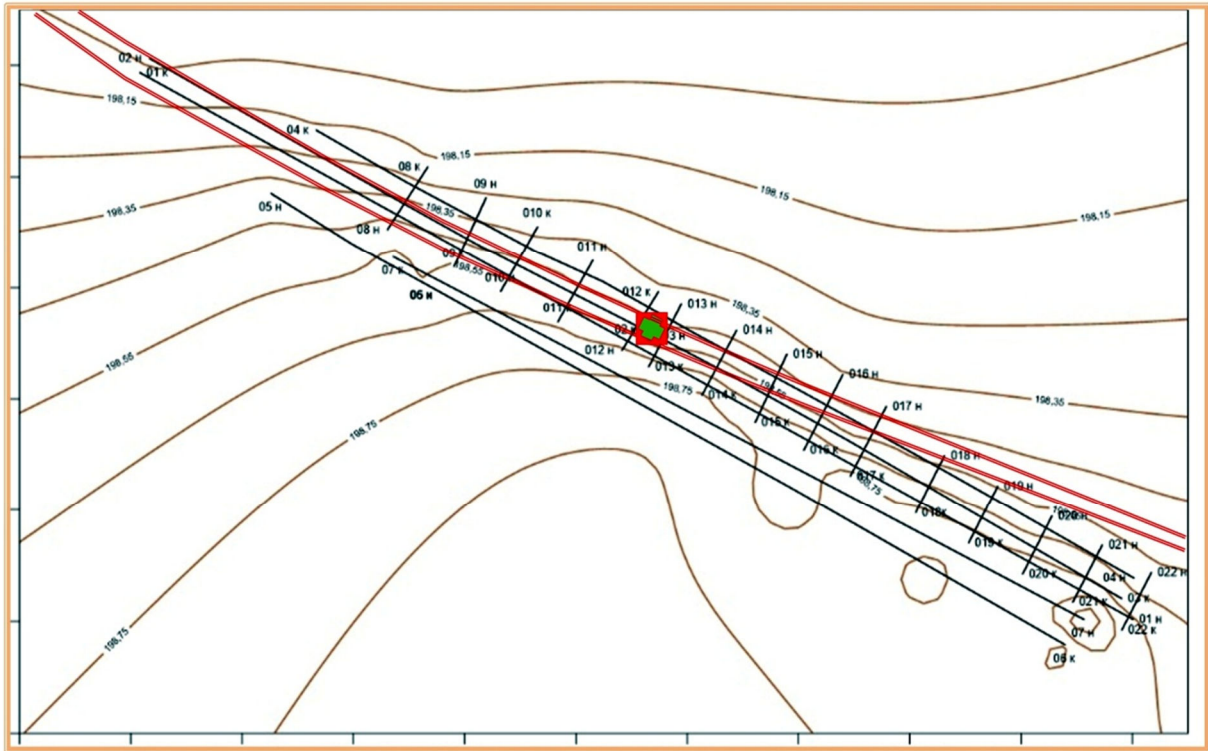


Рисунок 1 – Схема профилей, обработанных в пределах аварийного участка

При выполнении GPR-съемки применялся георадар SIR3000 (США); для проведения съемки использовался экранированный антенный блок, имеющий центральную частоту 200 МГц, что позволило изучить разрез на глубину до 8 м с высокой степенью детальности.

Обработка полевых данных была выполнена в программном пакете RadExPro (продукт «Деко–геофизика») по стандартному графу [2]. Результирующие радарограммы представлены в виде цветокодированных глубинных разрезов по каждому профилю.

Выполненный экспресс-анализ полученных глубинных разрезов позволил наметить ряд областей и зон, которые характеризуются существенно различным рисунком записи.

Участки профиля, в пределах которых верхняя граница, (названная «реперной»), расположенная на глубине ~ 40 см (12 нс) и, по-видимому, соответствующая контакту слоя щебня и слоя песка, характеризуется субгоризонтальным залеганием, четко выраженной динамикой и не затронута нарушениями, рассматривались как участки с хорошим состоянием дорожного покрытия (например, ПР 04, рис. 2).

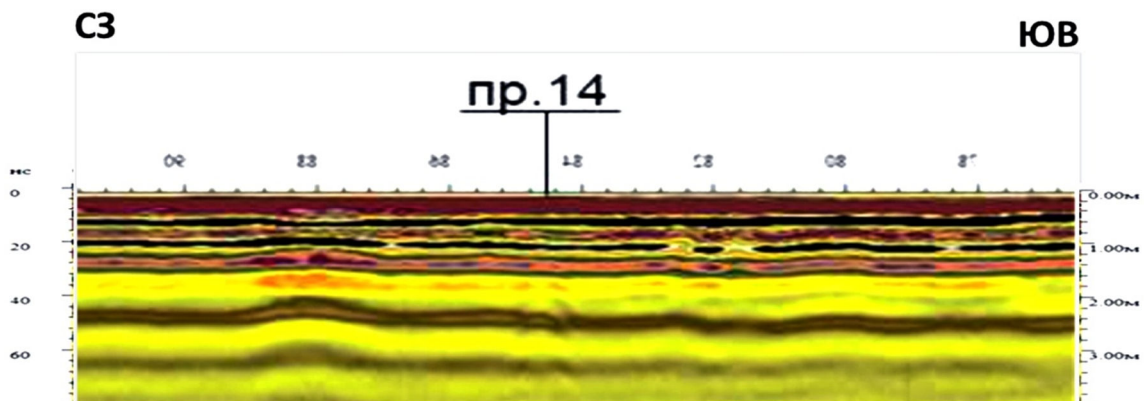


Рисунок 2 – Участок хорошего состояния дорожного покрытия. ПР 04

Плановая позиция профилей относительно области провала такова: продольный профиль ПР04 расположен севернее зоны провала; продольный профиль ПР01

проходит южнее этой зоны; непосредственно к зоне провала с запада подходит профиль ПР02, а восточнее зоны провала расположено начало профиля ПР03. Два поперечных профиля ПР12 и ПР13 располагаются соответственно западнее и восточнее области провала (примерно ~ в 2,0–2,5 м).

Анализ волновой картины, зарегистрированной на ПР01, показал, что уже на этом участке происходят изменения рисунка записи в интервале глубин 0–4,0 м, в этом интервале наблюдается сужение отражения, связанного с асфальтово-щебенистым покрытием (0–20 см). Образ границы на отметке 40 см из сплошной линии превращается в фрагментарно-рваную; отмечается небольшое проседание нижележащих границ и ослабление их интенсивности.

Разрывы сплошности границ, прослеживаемых в верхней части разреза (интервал глубин 0,0–1,0 м), наряду с ослаблением их интенсивности, еще более четко можно наблюдать на разрезе, полученном по «западному» профилю ПР12 (рис. 3).

Но наиболее яркую картину зоны разрыва (обвала) дорожного полотна демонстрирует профиль ПР13, волновое поле которого характеризуется сложным рисунком в виде разрывов сплошности границ в сочетании с участками вспучивания и элементами дифракции (рис. 4).

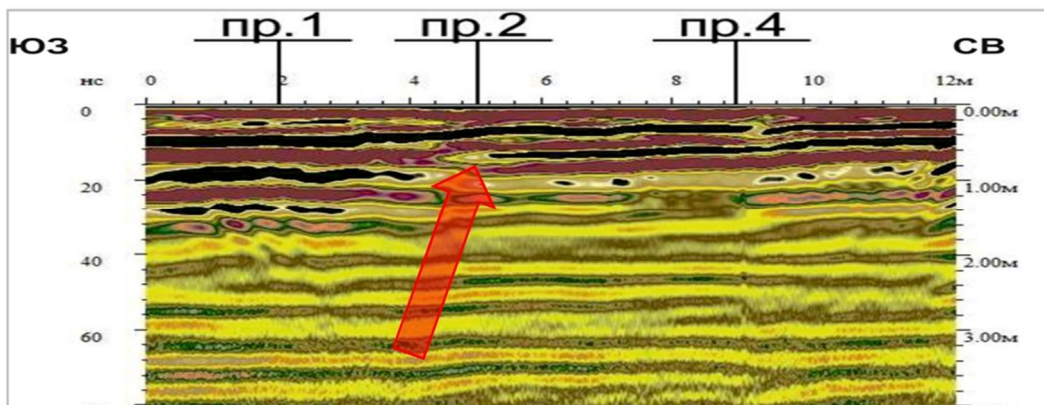


Рисунок 3 – Волновая картина в пределах аварийного участка. ПР 12

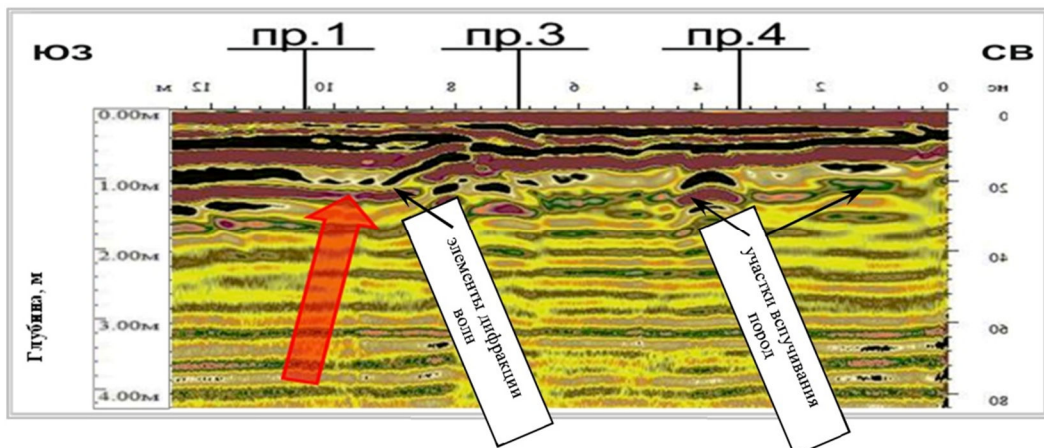


Рисунок 4 – Волновая картина в пределах аварийного участка. ПР 13

Величина смещения границы на уровне 20 см достигает на этом профиле 20–25 см (ПК 7.80), а амплитуда прогибания границы, расположенной на глубине 60 см, ~10,0–12,0 см.

Аналогичная картина нарушения гладкости границе наблюдается и на других поперечных профилях (рис. 5, 6), вплоть до самых восточных.

Анализ волновой картины по всей совокупности глубинных разрезов позволило предположить, что основное разрушение дорожной подушки произошло в восточном направлении. Хотелось также отметить то обстоятельство, что изменения структуры и состояния пород происходят, в основном, в интервале глубин 0–2,0 метров, а граница

на отметке 3,0 метра характеризуется устойчивой динамикой и прослеживается практически без смещений.

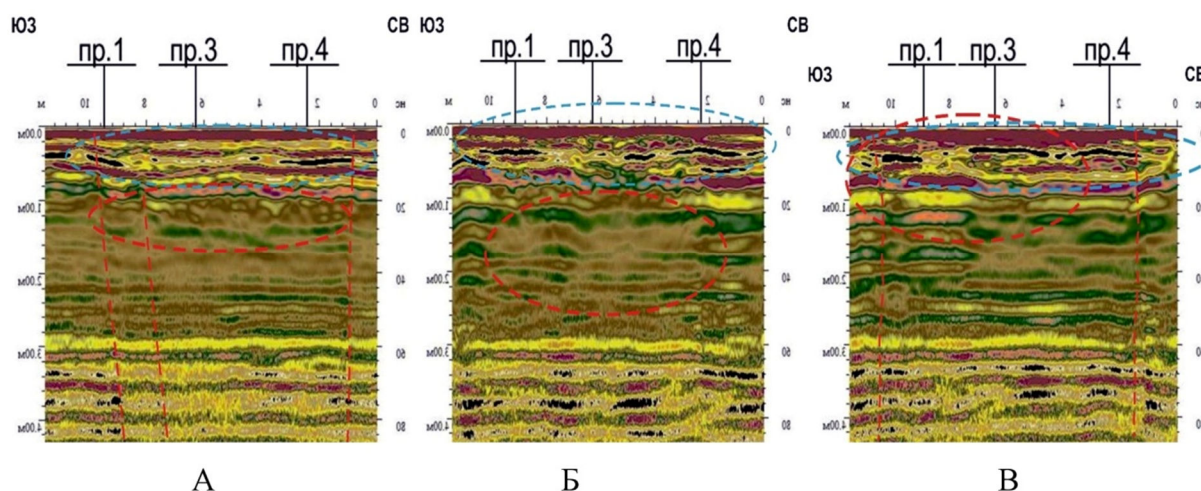


Рисунок 5 – Волновая картина в пределах аварийной картина участка.
ПР 18 (А), ПР 19 (Б), ПР 20 (В)

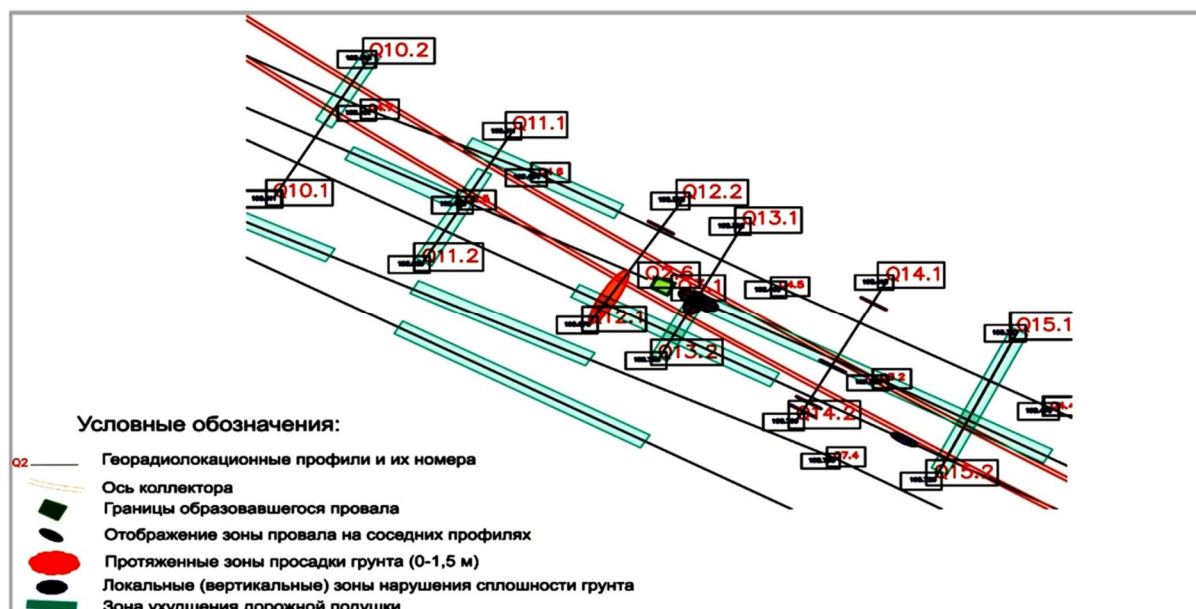


Рисунок 6 – Зоны ухудшения дорожного покрытия

Принятие в качестве основной причины просадки грунта техногенной причины – протечки коллектора, тем не менее, не исключает влияние и других причин, например, геологических.

Поэтому применительно к разрезу ПР13 была предпринята попытка палеоре-конструкции с целью компенсации разрыва границы (ПК 7.60), расположенной на глубине ~40,0 см (рис. 7).

Результат выполненной реконструкции демонстрирует рисунок записи, который с большой долей вероятности позволяет предположить наличие в верхней части разреза профиля 13 палеорусла (синяя заливка). При этом краевые части этого палеорусла контролируются разрывными нарушениями. Здесь же наблюдается смещение отдельных фрагментов границ и зоны вспучивания.

Наличие в пределах разреза нарушений разной глубины заложения, в сочетании с предполагаемым палеоруслом, позволяет высказать предположение, что помимо техногенной причины (протечки коллектора) в образовании провала автодорожного полотна определенную роль могли играть и иные, например, геологические причины (палеорека, неотектоника).

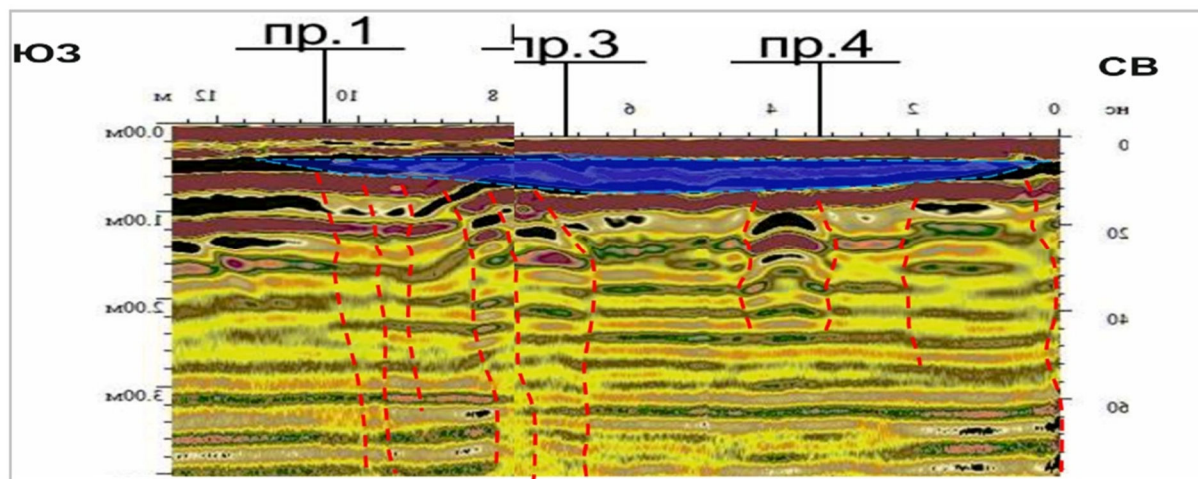


Рисунок 7 – Выделение на основе палеорусл
на основе палереконструкция волновой картины по профилю 13

Выводы.

– Были проведены георадарные исследования (GPR) на месте аварийной участка автодороги. Материалы GPR позволили получить детальное представление о состоянии автодороги, включая ее асфальтобетонное основание, так называемую «дорожную подушку», состоящую несколько слоев щебенистого и песчаного грунта, и на качественном уровне оценить степень ее однородности и сохранности.

– Отмеченные выше особенности волнового поля позволили четко локализовать границы зоны прорыва по латерали в пределах близлежащих профилей, а также наметить участки ухудшения качества дорожного полотна в пределах всей площади съемки.

– В качестве рекомендаций можно говорить о том, что геофизический мониторинг состояния автодорожного покрытия, выполняемый с определенной периодичностью, позволит заранее выявлять проблемные участки и оперативно намечать меры по устранению возможных осложнений.

Список литературы:

1. Куликов А.И. Применение метода георадиолокации для неразрушающего контроля автодорог жесткого типа // Записки Горного института. – 2002. – Т. 150. – Ч. 1. – С.164.
2. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие. – М. : Изд-во МГУ, 2008. – С.188.

УДК 550.3

ВЛИЯНИЕ ИЗВИЛИСТОСТИ НА ФЕС ПОРОД КОЛЛЕКТОРОВ**Самедзаде
Афет Ахмад****Азербайджанский Государственный Университет Нефти
и Промышленности**
ассистент
s.afet@mail.ru

Аннотация. В настоящее время одной из актуальных и сложных задач в геологии нефти и газа является оценка качества коллекторов. В данной работе было рассмотрено влияние параметра извилистости на качество пород-коллекторов, определяемая их фильтрационно-емкостными свойствами. Рассмотрено влияние и связи параметра извилистости между петрофизическими параметрами пористости и проницаемости для отдельных горизонтов. На основе керновых данных были построены корреляционные связи между этими параметрами на исследуемом объекте месторождение Сангачалы-Дуванный-Хара Зиря-Булла дениз.

Ключевые слова: пористость, проницаемость, извилистость, породы-коллекторы.

Одним из сложных и важных задач в нефте-газовой геологии является оценка качества коллекторов и определение их фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС). Качество пород-коллекторов нефти и газа определяются параметрами фильтрационно-емкостных свойств, в свою очередь влиянием множество факторов. Эти факторы могут быть определены их структурой и объемом порового пространства, расположением поровых каналов, морфологией зерен, минералогический состав скелетной части пород и другими параметрами свойств.

Следует учесть важность достоверного подхода определения извилистости пород-коллекторов, которое влияет на петрофизические свойства пород. Основываясь на модели пучка капиллярных трубок, мы видим, что извилистость является агеометрическим свойством пористой среды, отражающим длину пути потока на уровне пор при обтекании зернистых преград относительно длины пористой среды. Следовательно, чем ниже пористость, тем выше должна быть извилистость. [1] Winsauer и др. (1952) измерили извилистость песчаников наряду с другими свойствами. Извилистость измерялась электрически на основе аналогии между потоком электрического тока и потоком жидкости [2].

Объектами исследования было выбрано месторождение Сангачалы-Дуванный-Хара Зиря и Булла дениз, расположенный в основном в пределах северной части Бакинского архипелага. Исходя из выше сказанного было построена корреляционная связь между извилистостью и пористостью для данного месторождения (рис. 1).

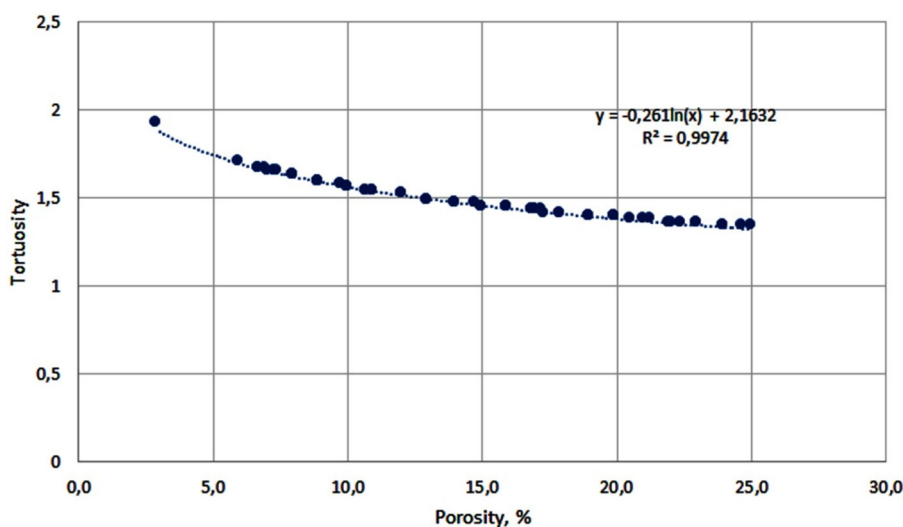


Рисунок 1 – Корреляционная связь между переменными извилистостью и пористостью для месторождения Сангачалы-Дуванный-Хара Зиря-Булла дениз

Как и ожидалось, существует отрицательная корреляция между двумя переменными. Чем ниже пористость, тем длиннее путь потока, который должны пройти частицы жидкости, чтобы течь от одного конца пористой среды к другому. Чем длиннее путь потока, тем больше извилистость среды.

Следовательно, из выше сказанных можно понять, что извилистость влияет на пористость и проницаемость. На примере построенных трехмерных графиков по горизонтам V и VII месторождения Сангачалы-Дуванный-Хара Зиря-Булла дениз можно увидеть связь между данными параметрами (рис. 2).

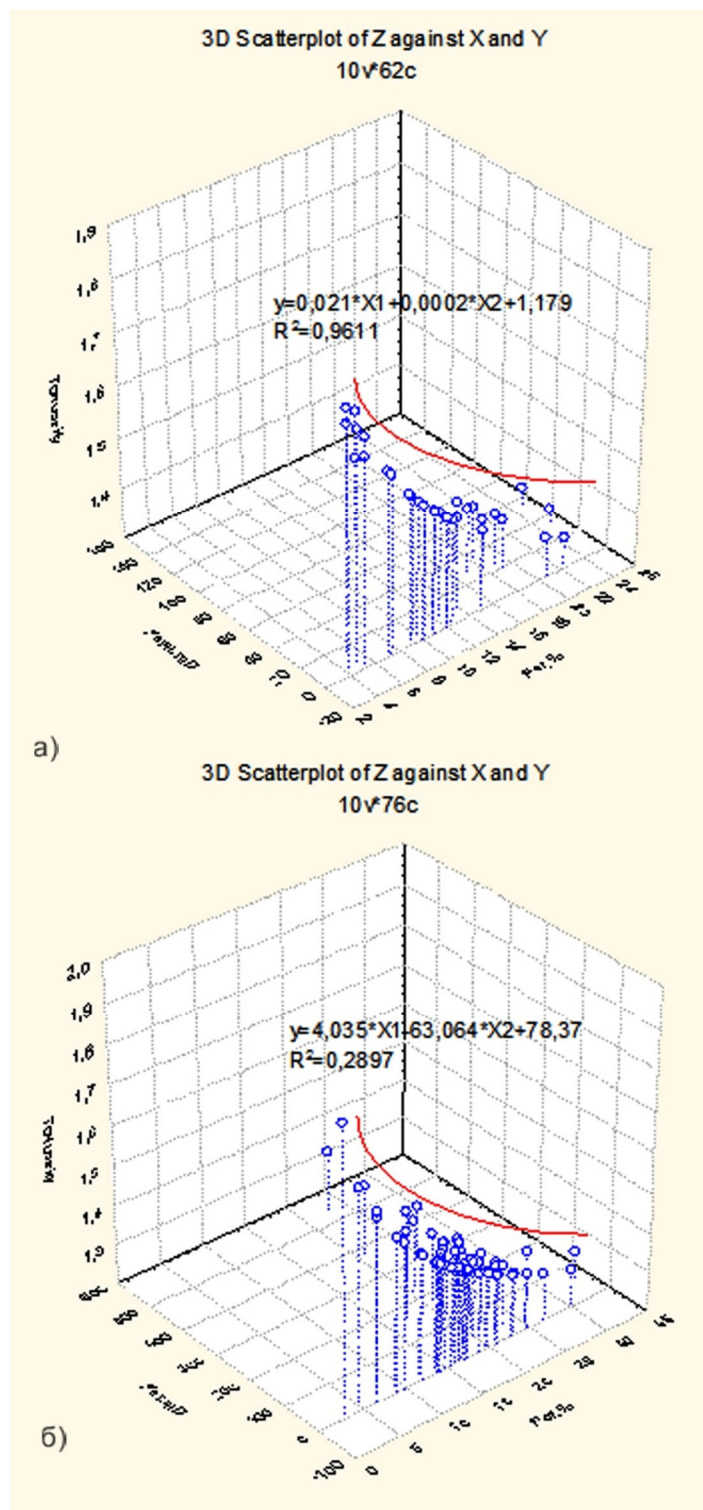


Рисунок 2 – Трехмерные графики между параметрами извилистости, пористости и проницаемости по горизонтам а) V – горизонт, б) VII – горизонт по месторождению Сангачалы-Дуванный-Хара Зиря-Булла дениз

Выводы

Параметр извилистости как видно из вышеизложенного влияет на фильтрационно-емкостные свойства. Основываясь на литературные данные были построены корреляционные связи между параметрами извилистости и пористости по данным выбранного месторождения Сангачалы-Дуванный-Хара Зиря-Булла дениз. Также были построены трехмерные графики между параметрами извилистости, пористости и проницаемости на основе керновых данных исследуемого объекта по различным горизонтам.

Список литературы:

1. Winsauer W.O., Shearin Jr. H.M., Masson P.H., & Williams M. Resistivity of Brine-Saturated Sands in Relation to Pore Geometry // American Association of Petroleum Geologists Bulletin. – 1952. – № 36. – P. 253–277.
2. Ekwere J. Peters – Petrophysics. – 2012. – P. 3.75–3.77.

БУФЕРНАЯ ЖИДКОСТЬ ДЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Самохвалов
Владимир Евгеньевич

ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»
ведущий инженер
v.samohvalov@rambler.ru

Аннотация. В статье представлена буферная жидкость для цементирования обсадных колонн, обладающая повышенной смывающей способностью.

Ключевые слова: скважина, фильтрационная корка, буферная жидкость.

Буферные жидкости используются 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 в процессе цементирования [1–3].

Современное назначение применения буферных жидкостей, обеспечивающим повышения качества цементирования обсадных колонн, должно отвечать следующим основным требованиям [4, 5]:

- предупреждение смешивания бурового и цементного растворов;
- предупреждение образования труднопрокачиваемых смесей;
- удаление фильтрационной корки на стенках скважины;
- обеспечение надежного контакта цементировочной смеси с горной породой.

Фильтрационная корка 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. [6, 7].

Воздействие жидкостей на фильтрационные корки изучается на различных лабораторных установках, позволяющих подобрать наиболее эффективный состав для ее разрушения [8–13]. Также в качестве буферных жидкостей могут быть использованы и другие технологические жидкости, например, применяемые для восстановления призабойной зоны продуктивных горизонтов [12–15].

Смывающую способность буферной жидкости определяли в лабораторных условиях путем определения потери массы глинистой корки, сформированной на неподвижном и вращающемся дисках во времени по методике [16]. В качестве составов буферных жидкостей исследовали 5,5 % водный раствор бисульфата натрия (NaHSO_4) и 10 % водный раствор сернокислого алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

Исследования 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 промышленных условиях в зависимости от скорости прокачки и время взаимодействия буферной жидкости с фильтрационной коркой обычно не превышает 10 минут. Поэтому исследования также проводились в течение 10 минут при постоянной скорости вращения. Испытания проводились в четыре этапа по 2,5 минут. В конце каждого этапа диск с коркой останавливали, извлекали из стакана и взвешивали. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Исследования показали, что применение 5,5 % раствора NaHSO_4 приводит к уменьшению массы корки на диске в 1,5 – 2 раза быстрее, чем в случае использования 10 % раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. В динамических условиях 10 % раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в течение 5 минут не оказывает воздействия на корку. Таким образом, использование 5,5 % раствора NaHSO_4 в качестве буферной жидкости позволит обеспечить надежный контакт цементного камня со стенкой скважины и поверхностью обсадных колонн.

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

Список литературы:

1. Рогов Е.А. Выбор буферных жидкостей при цементировании газовых скважин // Газовая промышленность. – 2008. – № 2. – С. 54–56.
2. Из опыта крепления нефтяных скважин в Татарии / И.С. Катеев [и др.]. – Казань, 1981. – 104 с.
3. Рогов Е.А. Разработка методов оценки составов технологических жидкостей для разупрочнения глинистых образований при бурении скважин : дис. ... канд. техн. наук: 25.00.15. – М., 2011. – 125 с.
4. Разработка новой буферной жидкости для цементирования скважин / Е.А. Рогов [и др.] // Бурение и нефть. – 2003. – № 9. – С. 22–25.
5. Рогов Е.А. Буферная жидкость для цементирования скважин на подземных хранилищах газа // Газовая промышленность. – 2014. – № 3. – С. 60–62.
6. 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. Заявка № 2004137512/03 от 22.12.2004.
7. Патент РФ на изобретение № 2455334. Буферная жидкость / Е.А. Рогов, С.Г. Солдаткин Оpubл. 10.07.2012. Заявка № 2010123283/03 от 07.06.2010.
8. 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.
9. 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.
10. Патент РФ на изобретение № 2680274. Установка для оценки смывающей способности буферных жидкостей / Рогов Е.А. Оpubл. 19.02.2019. Заявка № 2018102671 от 23.01.2018.
11. Патент РФ на полезную модель № 58709. Устройство для определения коэффициента трения фильтрационной корки / Рогов Е.А. Оpubл. 27.11.2006. Заявка № 2006124602/22 от 10.07.2006.
12. 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. Заявка № 2013118623/28 от 23.04.2013.
13. Патент РФ на полезную модель № 96962. Установка для проведения исследований / Рогов Е.А. Оpubл. 20.08.2010. Заявка № 2010111972/22 от 29.03.2010.
14. Патент РФ на изобретение № 2559267. Состав для обработки призабойной зоны пласта терригенных коллекторов / Рогов Е.А. Оpubл. 10.08.2015. Заявка № 2014125461/03 от 24.06.2014.
15. Патент на изобретение № 2679936. Способ очистки призабойной зоны пласта от глинистых образований / Рогов Е.А. Оpubл. 14.02.2019. Заявка № 2018108337 от 06.03.2018.
16. Рогов Е.А, Леонов Е.Г. Выбор состава ванн для ликвидации прихватов трубных колонн // Бурение и нефть. – 2006. – № 4. – С. 11 – 14.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ГАЗОПРОВОД – МАССИВ ГРУНТА»

Стефанов
Роман Евгеньевич

АО «Газпром газораспределение Тамбов»
r.stefanov@internet.ru

Аннотация. В статье рассматривается магистральный газопровод, особенностью которого является более сорокалетний срок эксплуатации (с 1977 года). Данный газопровод вдоль всей трассы находится в различных грунтах со сложными климатическими условиями, оказывает сильнейшее силовое воздействие на окружающую его среду (грунт), вследствие чего происходит изменение физико-механических свойств грунта, что сопровождается движениями газопровода как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Ключевые слова: нагрузки и воздействия на газопроводы; классификация нагрузок и воздействий; сочетания нагрузок; продольные и поперечные перемещения газопровода; сопротивление массива грунта перемещениям газопровода; моделирование системы «газопровод – массив грунта».

Газотранспортная система играет важнейшую роль в деятельности множества отраслей – любая проблема, связанная с ней, оказывает сильное влияние на развитие экономики страны. С каждым днём число аварий на объектах газопроводов растёт с развитием технологии, что подчёркивает проблему оценки работоспособности и повышения надёжности и ресурса газотранспортных систем.

Большой протяжённостью магистральных газопроводов России (по состоянию на 2023 год составляет 172,6 тыс. км) и высоким количеством устаревших объектов газотранспортной системы (около 30 % газопроводов находится в эксплуатации свыше 50 лет) объясняются большая вероятность и большое количество аварий. Одна небольшая и непредсказуемая авария может принести не только огромный материальный ущерб и иметь тяжёлые экологические последствия, но и сильно повредить здоровье людей, находящихся вблизи прорыва, выделившимися газами. Исходя из этого, в настоящее время первоочередной стала актуальность задачи безаварийной эксплуатации и повышения надёжности газотранспортных систем.

С целью обеспечения эффективной и надёжной работы магистральных газопроводов проводят их капитальный ремонт и/или реконструкцию. Проведение *капитального ремонта* считается лишь альтернативной стратегией продления ресурса оборудования с поддержанием его проектного технического состояния, а *реконструкция* позволяет улучшить технико-экономические показатели магистрального газопровода.

Учитывая возраст и состояние рассматриваемого трубопровода, оптимальным решением является реконструкция, которая базируется на обновлении газопроводной системы современными методами бестраншейной технологии. Однако выбор какого-либо метода реконструкции объекта газопровода принимается только после проведения комплексных работ по исследованию надёжности газопроводных конструкций с учётом экономических и экологических факторов.

На сегодняшний день существуют различные подходы к решению проблемы снижения числа аварий и повышения надёжности конструкций, но нет ни одного универсального решения. Анализ опыта эксплуатации показывает, что наиболее эффективное решение получается путём периодической диагностики трубопроводных систем магистральных газопроводов и проведение на основе результатов диагностики моделирования, а также анализа их напряжённо-деформируемого состояния и полученных расчётов на прочность и устойчивость. При этом необходимым условием является диагностика, а достаточным – моделирование.

Нестабилизированное состояние трубопровода

На большей части своей длины трубопровод находится в природном грунте, обладающем разнообразными физико-механическими свойствами. На одном участке

грунт может быть рыхлым, песчаным, на другом – скальным, прочным, на третьем – болотистым, вечномёрзлыми и т.д. Размещая трубопровод во всех грунтах, находящимся вдоль его трассы, проектировщик должен найти такое конструктивное решение, при котором будет обеспечена определённая стабильность расчётного положения труб во всех грунтах. Как показывает опыт эксплуатации трубопроводов, обеспечить это не всегда удаётся.

Трубопровод – высокоэнергонасыщенное сооружение линейной формы, оказывает сильнейшее силовое воздействие на окружающую среду (грунт в естественном состоянии или искусственная засыпка). В результате этого воздействия происходит изменение физико-механических свойств грунта. Он может разрыхляться или уплотняться, перемещаться в направлении действующих сил, образовывать оползни. Всё это сопровождается изменениями в положении самого трубопровода как в продольном (осевом), так и в поперечном (перпендикулярно продольной оси) направлениях. Много авторов в течение долгого времени обследовали тысячи километров трубопроводов в самых различных условиях (вечная мерзлота, пустыни, горы, болота и т.д.) и могут утверждать, что обеспечить полную «закреплённость» трубопровода в принципе невозможно, если используется в качестве «окружающей среды» естественный грунт. Однако это не означает, что положение трубопровода со стабилизацией (т.е. закреплением трубопровода) совершенно нерегулируемое.

Инженеры при проектировании рассчитывают все возможные изменения начального положения, т.е. всевозможные перемещения трубопровода, чтобы заставить трубопроводы работать на улучшение состояния, на уменьшение конструктивной энергетики трубопровода и его напряжённого состояния.

В практике трубопроводного строительства хорошо известно, что состояние трубопровода не остаётся раз и навсегда таким, каким оно зафиксировано при строительстве. Весь период эксплуатации трубопровод находится в нестабилизированном состоянии, под влиянием различных факторов оно непрерывно изменяется. Все его характеристики взаимосвязаны, их связь настолько существенна, что изменение даже одной из них способно изменить и другие. Для определения действительного положения трубопровода и действующих в нём усилий в какой-то момент времени необходимо иметь основные характеристики, полностью определяющие поведение трубопровода в течение всего времени его работы (табл. 1).

Таблица 1 – Основные характеристики, определяющие нестабилизированное состояние трубопровода

Состояние трубопровода	Характеристики, определяемые непосредственным измерением фактических величин
Начальное	Положение главной оси трубопровода (y, z) в фиксированных сечениях x_0 (через каждые 50 м или непрерывная запись на ленте)
	Температура стенки труб t_0 через 50–100 м
	Физико-механические характеристики грунтов через каждые 100 м вдоль главной оси для труб $D \geq 100$ см: ω_0 – влажность, ϵ_0 – коэффициент пористости, γ_0 – объёмный вес грунта в естественном состоянии, B_0 и D_0 – показатели консистенции и плотности
Испытание	Внутреннее давление $p_{исп}$
	Температура стенки труб $t_{исп}$
	Изменение положение главной оси x, y, z
Эксплуатация	Внутреннее давление рабочее $p_{раб}$
	Наибольшая температура стенки труб t_{max}
	Изменение положение главной оси y, z – один раз в год
	Изменение характеристики грунтов (через год эксплуатации и затем раз в 5 лет)
	Изменение рельефа местности
	Образование оползней

В общем случае следует акцентировать внимание на все возможные источники действующих на трубопровод сил – систему нагрузок и воздействий на газопроводы.

Классификация нагрузок и воздействий

Напряжённно-деформированное состояние любого несущего элемента линейной части магистрального газопровода однозначно определяется характеристиками воздействующих на него нагрузок. Эти нагрузки изменяются в зависимости от характеристик окружающей среды, параметров перекачиваемого продукта и т.д. Для линейной части трубопроводов основными из нагрузок являются *внутреннее давление, давление грунта, собственный вес труб и газа*, а из воздействий – *температура, просадка и пучение грунта, давление оползающих грунтов*.

В соответствии с принятой методикой расчёта прочности по предельным состояниям различают *расчётные* и *нормативные нагрузки*. Под нормативными понимают нагрузки, устанавливаемые нормативными документами и определяемые на основании статистического анализа при нормальной эксплуатации сооружения. Расчётной называют нагрузку, учитывающую возможное отклонение от нормативной, и определяют путём умножения на коэффициент надёжности по нагрузке n . Коэффициенты надёжности n для различных видов нагрузки и воздействий регламентируются согласно СНиП 2.05.06-85.

Строительные нормы и правила устанавливают два типа нагрузок, действующих на конструкции во время эксплуатации – *постоянные* и *временные*. Временные нагрузки, которые подразделяются на *длительные, кратковременные* и *особые*, отличаются от постоянных тем, что они в отдельные периоды эксплуатации могут отсутствовать.

Ниже приведена подробная классификация нагрузок и воздействий, действующих на любых участках газопроводов.

Постоянные нагрузки

К *постоянным* нагрузкам и воздействиям относят те, которые действуют в течение всего срока строительства и эксплуатации трубопровода:

1. Собственный вес трубопровода, учитываемый в расчётах как вес единицы длины трубопровода:

$$q_{тр} = n \cdot \pi \cdot D_{ср} \cdot \delta \cdot \gamma_{ст},$$

где n – коэффициент надёжности по нагрузке ($n = 1,1$); $D_{ср}$ – средний диаметр трубопровода, м; δ – толщина стенки труб, м; $\gamma_{ст}$ – удельный вес стали, Н/м³.

2. Вес изоляционного покрытия и различных устройств, которые могут быть на трубопроводе. Для надземных трубопроводов вес ориентировочно можно принимать равным $\approx 10\%$ от собственного веса трубы. Точнее вес изоляционного покрытия определяют по формуле:

$$q_{уз} = n \cdot \gamma_{уз} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{уз}^2 - D_{н}^2),$$

где n – коэффициент надёжности по нагрузке ($n = 1,1$); $\gamma_{уз}$ – удельный вес материала изоляции, Н/м³; $D_{уз}$ и $D_{н}$ – соответственно диаметр изолированного трубопровода и его наружный диаметр, м.

3. Для практических расчётов давление грунта на единицу длины трубопровода можно определять по формуле:

$$q_{гр} = n \cdot \gamma_{гр} \cdot h_{ср} \cdot D_{уз},$$

где n – коэффициент надёжности по нагрузке ($n = 1,2$); $\gamma_{гр}$ – удельный вес грунта, Н/м³; $h_{ср}$ – средняя глубина заложения оси трубопровода, м; $D_{уз}$ – диаметр изолированного трубопровода, м.

4. Гидростатическое давление воды на единицу длины трубопровода, определяемое весом столба жидкости над подводным трубопроводом:

$$q_{гс} = n \cdot \gamma_{в} \cdot h \cdot D_{ф},$$

где n – коэффициент надёжности по нагрузке ($n = 1,0$); $\gamma_{\text{в}}$ – удельный вес воды с учётом засоленности и наличия взвешенных частиц, Н/м³; h – высота столба воды над рассматриваемой точкой, м; $D_{\text{ф}}$ – диаметр изолированного и футерованного трубопровода, м.

5. Воздействие предварительного напряжения, создаваемое за счёт упругого изгиба при поворотах оси трубопровода:

$$\sigma_{\text{пр}}^{\text{из}} = \pm \frac{E \cdot D_{\text{н}}}{2 \cdot \rho},$$

где $\sigma_{\text{пр}}^{\text{из}}$ – максимальное продольное напряжение в стенках трубы, обусловленное изгибом трубопровода, МПа; E – модуль упругости ($E = 206000$ МПа); $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр трубопровода, м; ρ – радиус изгиба оси трубопровода, м.

Длительные временные нагрузки

К длительным временным нагрузкам относят следующие виды:

1. *Внутреннее давление*, которое устанавливается проектом. Внутреннее давление создаёт в стенках трубопровода кольцевые и продольные напряжения.

Кольцевые напряжения определяют по формуле

$$\sigma_{\text{кц}} = \frac{n \cdot P \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \delta},$$

где n – коэффициент перегрузки по внутреннему давлению ($n = 1,10-1,15$); P – нормативное значение внутреннего давления, МПа; $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, м; δ – толщина стенки трубы, м.

Продольные напряжения в стенке трубы от внутреннего давления определяются по формуле

$$\sigma_{\text{пр}} = \mu \cdot \sigma_{\text{кц}} = \mu \cdot \frac{n \cdot P \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \delta},$$

где μ – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) (для сталей $\mu = 0,26-0,33$, т.е. среднее значение $\mu = 0,3$).

2. *Температурные воздействия*, которые при невозможности деформаций вызывают в стенках трубопровода продольные напряжения

$$\sigma_{\text{пр}}(t) = -\alpha \cdot E \cdot \Delta t,$$

где α – коэффициент линейного расширения ($\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/град); E – модуль упругости, МПа; $\Delta t = t_0 - t_{\text{ф}}$, здесь t_0 – максимально или минимально возможная температура стенок трубы при эксплуатации; $t_{\text{ф}}$ – наименьшая или наибольшая температура, при которой фиксируется расчётная схема трубопровода (укладка трубы в траншею или на опоры).

Кратковременные нагрузки

Нагрузки, возникающие при изготовлении, хранении и перевозке конструкций, а также при возведении сооружений, следует учитывать в расчётах как кратковременные нагрузки. К кратковременным нагрузкам в период эксплуатации следует относить:

- 1) нагрузки от оборудования, возникающие в пускоостановочном, переходном и испытательном режимах, а также при его перестановке или замене;
- 2) вес людей, ремонтных материалов в зонах обслуживания и ремонта оборудования;
- 3) *снеговая нагрузка*, приходящаяся на единицу длины трубопровода:

$$q_{\text{сн}} = n \cdot \mu \cdot S_0 \cdot D_{\text{из}},$$

где n – коэффициент надёжности по нагрузке ($n = 1,4$); μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на трубопровод ($\mu = 0,4$); S_0 – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли; $D_{из}$ – диаметр изолированного трубопровода, м.

Особые нагрузки и воздействия

Особыми нагрузками и воздействиями на магистральные трубопроводы принято называть те, которые возникают в результате селевых потоков, деформаций земной поверхности в карстовых районах и районах выработок, а также деформаций грунта, сопровождающихся изменением его структуры. Эти нагрузки должны определяться на основании данных анализа грунтовых условий и их возможного изменения в процессе строительства и эксплуатации трубопровода.

Сочетания нагрузок

В зависимости от учитываемого состава нагрузок следует различать:

- 1) основные сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных,
- 2) особые сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок.

При учёте сочетаний, включающих постоянные и не менее двух временных нагрузок, расчётные значения временных нагрузок или соответствующих им усилий следует умножать на *коэффициенты сочетаний*, равные:

- в основных сочетаниях для длительных нагрузок $\Psi_1 = 0,95$; для кратковременных $\Psi_2 = 0,90$;
- в особых сочетаниях для длительных нагрузок $\Psi_1 = 0,95$; для кратковременных $\Psi_2 = 0,80$, кроме случаев, оговоренных в нормах проектирования сооружений для сейсмических районов и в других нормах проектирования конструкций и оснований. При этом особую нагрузку следует принимать без снижения.

При учёте основных сочетаний, включающих постоянные нагрузки и одну временную нагрузку (длительную или кратковременную), коэффициенты Ψ_1 и Ψ_2 вводить не следует, а при учёте трёх и более кратковременных нагрузок их расчётные значения допускается умножать на коэффициент сочетания Ψ_2 , принимаемый для первой (по степени влияния) кратковременной нагрузки – 1,0, для второй – 0,8, для остальных – 0,6.

Продольные и поперечные перемещения газопроводов

Если бы трубопровод действительно был закреплён в грунте, то никаких проблем с возможным изменением его начального состояния (геометрическое положение и напряжённое состояние) не было бы. Однако на самом деле трубопровод непрерывно «дышит», перемещаясь как в продольном, так и в поперечном направлениях. Если бы эти перемещения были незначительными и одноразовыми, то направленное состояние труб тоже изменилось бы незначительно. Но есть ещё один важный фактор, возникающий даже при незначительных перемещениях трубопровода – постепенное изменение физико-механических свойств грунта, приводящее, как правило, к *образованию оползней*, как на продольных, так и на поперечных уклонах, *оголению трубопровода* и *образованию различного рода вынужденных искривлений труб* (выпучивание, гофры, изломы и т.д.). Поэтому для оценки напряжённого состояния и прогноза его изменения при перемещениях трубопровода необходимо знать основные закономерности поведения трубопровода при взаимодействии с грунтом.

Под действием нагрузок и воздействий газопроводы испытывают поперечные горизонтальные, вертикальные и продольные перемещения.

Под действием собственного веса трубопровода и вспомогательного оборудования, а также с развитием инженерно-геодинамических процессов (просадки лёссовых грунтов, образование карстов и т.д.) газопровод перемещается поперечно по направлению вниз. Этот процесс называют *осадкой* (рис. 1). Осадка развивается в ре-

зультате уплотнения и формоизменения части массива грунта под трубой. Вдоль своей трассы магистральный газопровод пересекается с различными естественными и искусственными препятствиями, его участки лежат в различных инженерно-геологических условиях, что вызывает неравномерные осадки и изгиб трубопровода.

Под действием сжимающей продольной силы (выпучивание) и силы Архимеда на обводнённых участках (всплытие) газопровод испытывается поперечными перемещениями по направлению вверх. Вертикальное выпучивание трубы обусловлено сжимающей продольной силой, вызванной продольным удлинением участков трубопровода с большей продольной жёсткостью. Продольная жёсткость трубопровода – состояние трубопровода, при котором продольные деформации любого сечения трубопровода отсутствуют, при этом $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$.

Как только продольная сила преодолет критическое значение, образуется упруго-искривлённая форма на участке λ со стрелкой прогиба f_0 . Величина прогиба зависит от последующего изменения продольной силы, т.е. зависит от давления и температуры транспортируемой продукции. Другими словами, при увеличении сжимающей силы P наблюдается поперечное вертикальное перемещение трубопровода в сторону увеличения начальной стрелки прогиба f_0 на величину $\Delta f > 0$ (рис. 2).

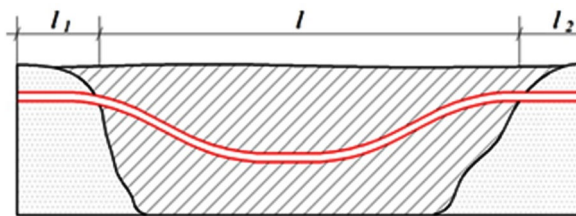


Рисунок 1 – Образование типичной осадки

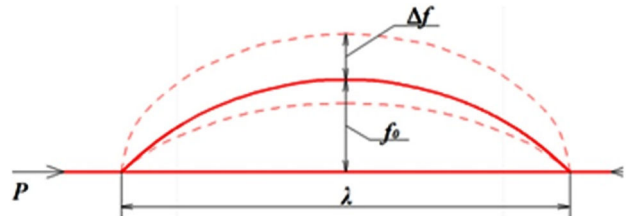


Рисунок 2 – Образование упруго-искривлённой формы линейной части магистрального газопровода

В случае если трубопроводы лежат в водонасыщенных грунтах или при оттаивании мёрзлых грунтов, они имеют положительную плавучесть и также испытываются поперечными вертикальными перемещениями – происходит всплытие трубопровода под действием силы Архимеда.

Поперечные горизонтальные перемещения вызываются продольным усилием в стенке трубопровода, т.е. искривлением трубопровода в плане – горизонтальное выпучивание в результате развития оползневых процессов (рис. 3).

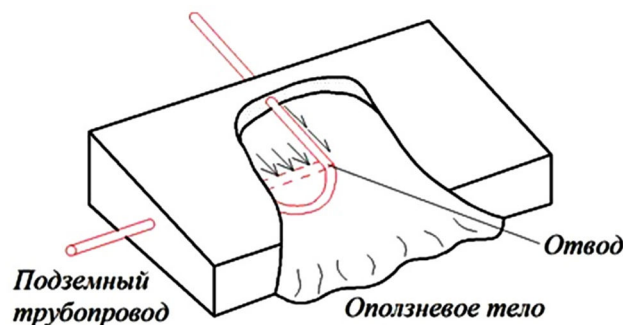


Рисунок 3 – Изображение поперечных горизонтальных перемещений

Продольные перемещения трубопровода наблюдаются в случае изменения температурного перепада и внутреннего давления продукта (газа).

Именно наличие по длине трубопровода участков различной продольной жёсткости и неполное заземление трубопровода грунтом приводят к продольным удлинениям труб на участках меньшей жёсткости по сравнению с прямолинейным трубопроводом – упругих искривлениях, поворотах труб в плане, по вертикали (например, переходах, выполненных в виде арок), тройниковых соединениях и т.д. Таким образом, при анализе

возможных изменений состояния трубопровода, в том числе и приводящих к аварии, прежде всего, следует обращать внимание на участки меньшей продольной жёсткости. При этом проверять их прочность необходимо с учётом перемещений прилегающих к ним участков, поскольку эти перемещения собираются именно на слабых участках.

На прямолинейных участках газопровода до потери устойчивости наблюдается преимущественно только развитие осадок сооружения. Наиболее опасными для трубопровода являются поперечные перемещения по направлению вверх. При выходе трубопровода из массива грунта на поверхность участок линейного сооружения подвергается воздействиям осадков, изменению температурного режима, а также механическим повреждениям, вызванным разрушением или опрокидыванием железобетонных пригрузов в процессе эксплуатации и т.д. В качестве примера значительных перемещений трубопроводов по направлению вверх можно привести перемещения магистрального газопровода, проложенного по болотам и озёрам Западной Сибири. Данные сооружения испытывают значительные температурные воздействия и в результате образовались «арки» длиной до 500 м и более, а стрелки изгибов – до 15 м.

Сами по себе начальные формы искривления, имеющие упругий характер, не опасны для прочности трубопровода. Однако они несут опасность для устойчивости, когда произойдут изменения либо давления продукта, либо температуры, либо физико-химических характеристик грунта и т.п.

Сопротивление массива грунта продольным и поперечным перемещениям трубопровода

Магистральные газопроводы – высокоэнергонасыщенное сооружение линейной формы, особенностью которых является то, что массив грунта для них представляет собой не только нагрузку, но и среду, в которой развиваются деформации сооружения. Массив грунта непрерывно оказывает сопротивление перемещениям трубопровода. Однако жёсткость стали (при модуле упругости $E = 206000$ МПа) намного выше жёсткости массива грунта (при модуле $E = 0,5–50$ МПа), что свидетельствует об ограниченной способности массива грунта к сопротивлению перемещениям трубопровода.

На сегодняшний день накопилось значительное количество экспериментальных исследований по изучению сопротивления массива грунта перемещениям трубопровода. Работы проводились не только в лабораторных условиях, но и на практике. В общем случае зависимость сопротивления массива грунта от перемещений трубопровода по различным направлениям может быть задана с помощью квадратичных функций. В качестве примера можно привести диаграмму сопротивления песчаного грунта продольным перемещениям (рис. 4): ось абсцисс – продольные перемещения, а ось ординат – средние значения сопротивления грунта сдвигу по периметру трубы на единицу её длины.

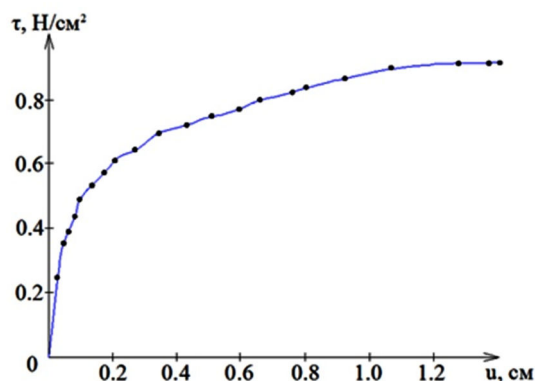


Рисунок 4 – Зависимость сопротивления песчаного грунта от продольных перемещений трубопровода диаметром 529 мм с высотой засыпки 1,2 м

Для общего случая также следует указать: *продольные перемещения* трубы вызываются, прежде всего, формоизменением окружающего грунта (деформации сдвига), в то время как *поперечные перемещения* – и формоизменением, и уплотнением (объёмными деформациями). При этом взаимодействие «трубопровод – массив грунт»

зависит от следующих факторов:

- характеристик грунта (коэффициента пористости, удельного веса, влажности, коэффициента крепости по шкале Протождяконова, сцепления, ползучести и др.);
- трения на поверхности «трубопровод – массив грунт» (угла внутреннего трения);
- наличия вспомогательных устройств (балластирования, изоляции и т.д.);
- дренированных условий грунтов;
- характеристик трубопровода (диаметра, глубины заложения, металла трубы, наличия изоляционного покрытия и др.);
- температурного режима;
- условий эксплуатации сооружения (продольного уклона и др.).

Моделирование системы «газопровод – массив грунта»

С целью обеспечения безопасности эксплуатации проводят исследование надёжности газопроводных конструкций, анализ напряжённо-деформированного состояния, а также расчёт на прочность и устойчивость трубопроводов.

Расчёт напряжённо-деформированного состояния магистральных трубопроводов, основанный на закономерности сопротивления материалов, не позволяет провести адекватный анализ прочности трубопроводов с требуемой точностью, а иногда может получить неверную качественную картину напряжённо-деформированного состояния. В последние годы во всём мире единственным средством анализа трёхмерного нелинейного напряжённо-деформированного состояния трубопроводных систем является использование приближённых численных методов. Среди этих методов наибольшее распространение получил метод конечных элементов, основным достоинством которого является возможность решения задач для области любой формы с использованием разбиения расчётной области на конечные элементы треугольной формы, в то время как аналитические решения могут быть получены только для задач с достаточно простой геометрией. Кроме того, преимущество метода конечных элементов проявляется в его универсальности техники вычислений при использовании различных конечных элементов в модели конструкции. Конечно-элементные модели различных конструкций могут быть сведены к стержневым, пластинчатым, оболочечным или объёмным системам, находящимся под действием произвольных нагрузок.

Моделирование газопровода

В расчётных моделях системы «газопровод – массив грунта» магистральный газопровод задаётся одним из следующих моделей: *стержнем*, *нитью*, *оболочкой* или *сплошной средой*.

Модель нити используется для расчёта конструкций с большими прогибами. При этом нить может быть гибкая и жёсткая. В случае если напряжение изгиба меньше 5 % от напряжения растяжения, используется модель гибкой нити, при этом жёсткость на изгиб не учитывается. В противоположении используется модель жёсткой нити, т.е. напряжения учитываются при растяжении и при изгибе. Однако при больших значениях отношения напряжения изгиба к напряжению растяжения используется стержневая модель.

Стержневые элементы – участки, у которых длина значительно превосходит толщину и ширину. Для моделирования протяжённого трубопровода применяют тонкие стержни, т.е. отсутствуют деформации сдвига. В общем случае стержень – криволинейный.

Оболочки – объекты, у которых длина и ширина значительно превосходят толщину. Трубопровод – тонкая цилиндрическая оболочка.

Более совершенной с точки зрения физического смысла задачи это представление трубопровода как *сплошной среды*, заполняющей геометрический объём тела. Недостатком данной модели является отсутствие учёта структуры материала.

Моделирование массива грунта

При задании *трубопровода* в расчётной модели *нитью* или *стержнем* массив грунта задаётся нелинейными связями конечной жёсткости (по трём взаимно перпен-

дикулярным направлениям), при построении оболочечных и объёмных моделей массив строится объёмными конечными элементами. В случае решения плоской задачи модель сплошной среды применяется как для трубопровода, так и массива грунта.

На рисунке 5 показаны три взаимно перпендикулярные связи. Каждая связь имитирует сопротивление грунта перемещению трубы по соответствующему направлению.

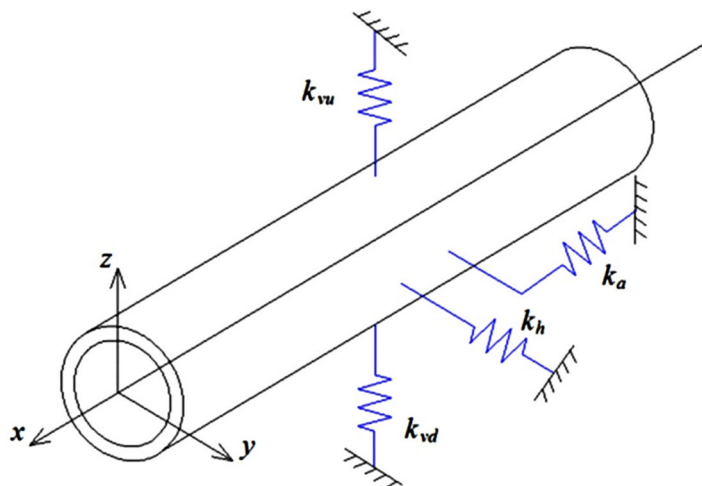


Рисунок 5 – Стержневая модель участка газопровода с тремя взаимно перпендикулярными связями конечной жёсткости

Модели сплошной среды массива грунта являются в настоящее время повсеместно распространёнными. В связи с очевидностью нелинейных свойств массива грунта используются нелинейные соотношения между напряжениями и деформациями. Альтернативой модели сплошной среды в задачах совместного расчёта может стать дискретная среда и метод дискретных элементов.

При наличии в глинистых грунтах твёрдой, жидкой, газообразной и биогенной фаз с размером глинистых частиц менее 0,002 мм применение метода дискретных элементов для анализа напряжённо-деформированного состояния массива грунта затруднительно.

Список литературы:

1. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы. – М. : Издательство «Энерджи Пресс», 2011. – 480 с.
2. Рудаченко А.В., Саруев А.Л. Исследование напряжённо-деформированного состояния трубопроводов: учебное пособие. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 136 с.
3. Селезнёв В.Е., Алёшин В.В., Клишин Г.С. Методы и технологии численного моделирования газопроводных систем / Под ред. В.Е. Селезнёва. – М. : КомКнига, 2005. – 328 с.
4. Харионовский В.В. Надёжность и ресурс конструкций газопроводов. – М. : Недра, 2000. – 467 с.
5. Стефанов Р.Е. Анализ технического состояния нефтепровода при выборе способа капитального ремонта // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 3. – С. 196–214.
6. Стефанов Р.Е. Проведение капитального ремонта нефтепровода с заменой труб // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 3. – С. 215–241.
7. Яньнань В. Исследование состояния участка магистрального газопровода «Парабель – Кузбасс» методом конечных элементов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2016.

МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ ОБРАЗЦОВ

Тюхтина
Натела Сохатовна

ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»
начальник лаборатории.
N_Tyukhtina@mail.ru

Аннотация. В статье представлена метод оценки проницаемости пористых образцов после воздействия различных кислотных растворов.

Ключевые слова: скважина, призабойная зона пласта, проницаемость, образец.

В процессе первичного и вторичного вскрытия продуктивных горизонтов происходит снижение проницаемости призабойной зоны пласта (ПЗП). Анализ научной литературы показывает, что основными причинами снижения проницаемости ПЗП является [1, 2]:

- проникновение в ПЗП частиц и фильтрата бурового раствора;
- деформация коллектора в ПЗП при больших депрессиях;
- наличие в пласте коллекторе глинистого материала;
- выпадение в осадок солей в результате взаимодействия фильтрата бурового раствора и жидкости перфорации с пластовой водой.

В литературе удаление фильтрационных корок на стенках ПЗП и восстановление ее проницаемости изучается на установках как простыми способами [3–5], не учитывающими некоторые факторы, так и сложными способами, позволяющими проводить эксперименты в условиях близким к пластовым [6–8]. В качестве рабочих агентов для повышения проницаемости ПЗП также могут быть использованы как различные способы [9, 10], так и различные составы жидкостей химического действия, например, буферные жидкости [11–13]. При этом кислотный раствор должен обеспечивать следующие основные функции [14]:

- обладать высокой реакционной способностью по отношению к фильтрационной корке и породе пласта;
- при взаимодействии с горной породы не образовывать продуктов реакции, которые могли бы необратимо снизить проницаемость ПЗП;
- обладать минимальным коррозионным воздействием на подземное скважинное оборудование.

На рисунке 1 представлена схема установки для выбора эффективного состава кислотного раствора для повышения проницаемости ПЗП.

Позициями на схеме обозначены: 1, 11, 17 – вентили; 2 – корпус; 3 – затяжная гайка; 4, 6, 7 – поджимное, металлическое и резиновое кольца; 5 – уплотнительный элемент; 8 – исследуемый кислотный состав; 9 – глинистая корка; 10 – отвод для слива жидкости; 12, 16 – перфорированные диски; 13 – сетчатый цилиндр; 14, 15 – частицы кварцевого песка разных диаметров.

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 воздействия на него исследуемого кислотного раствора k_3 (декольматация образца).

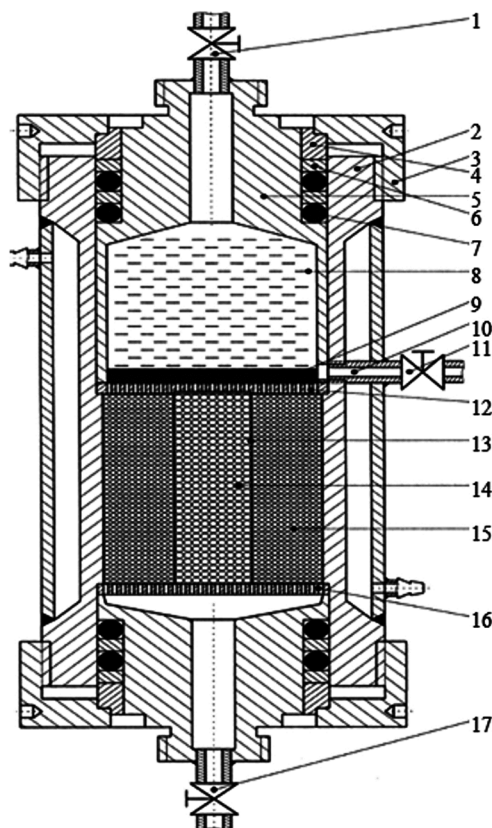


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Таким образом, предложенный метод и установка для его реализации позволяет подобрать эффективный кислотный состав с целью восстановления проницаемости ПЗП.

Список литературы:

1. Рогов Е.А. Разработка методов оценки составов технологических жидкостей для разупрочнения глинистых образований при бурении скважин : дис. ... канд. техн. наук: 25.00.15. – М., 2011. – 125 с.
2. Рогов Е.А. Технологическая жидкость для обработки призабойной зоны пласта терригенных коллекторов на подземных хранилищах газа // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 5. – С. 34–36.
3. Патент РФ № 58709. Устройство для определения коэффициента трения фильтрационной корки / Рогов Е.А. Оpubл. 27.11.2006. Заявка № 2006124602/22 от 10.07.2006.
4. 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. – С. 29–32.
5. Патент РФ на № 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.
6. Патент РФ № 2680274. Установка для оценки смывающей способности буферной жидкости / Рогов Е.А. Оpubл. 19.02.2019. Заявка № 2018102671 от 23.01.2018.
7. Патент РФ № 96962. Установка для проведения исследований / Рогов Е.А. Оpubл. 20.08.2010. Заявка № 2010111972/22 от 29.03.2010.

8. Патент РФ № 132200. Устройство для проведения исследований фильтрационных процессов в породе пласта при глушении скважин / Е.А. Рогов и др. Оpubл. 10.09.2013. Заявка № 2013118623/28 от 23.04.2013.
9. Патент РФ № 2679936. Способ очистки призабойной зоны пласта от глинистых образований / Рогов Е. А. Оpubл. 14.02.2019. Заявка № 2018108337 от 06.03.2018.
10. Патент РФ № 2617135. Способ очистки призабойной пласта от глинистых образований / Рогов Е.А. Оpubл. 21.04.2017. Заявка № 2015155147 от 22.12.2015.
11. Патент РФ № 2309175. Буферная жидкость / Леонов Е.Г. и др. Оpubл. 27.10.2007. Заявка № 2004137512/03 от 22.12.2004.
12. Рогов Е.А. Ликвидация прихватов при бурении глинистых пород // Строительство скважин на суше и на море. – 2020. – № 6. – С. 14–17.
13. Патент РФ № 2455334. Буферная жидкость / Е.А. Рогов, С.Г. Солдаткин Оpubл. 10.07.2012. Заявка № 2010123283/03 от 07.06.2010.
14. Рогов Е.А. Состав технологической жидкости для декольматации призабойной зоны пласта // Строительство скважин на суше и на море. – 2016. – № 6. – С. 38–40.

О БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН

**Шалыгин
Роман Константинович**

Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина
инженер кафедры бурения нефтяных и газовых скважин
teksertgubkin@yandex.ru

**Нгуен
Фам Суан Май**

Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина
аспирант кафедры бурения нефтяных и газовых скважин

Аннотация. Совершенствование химической продукции для бурения скважин идет в двух направлениях – повышение функциональной результативности и повышение технологической безопасности, в том числе путем расширения применения зеленой химии. Показано, что наличие в сопроводительной документации на поставку химической продукции качественно разработанных технических условий, паспорта безопасности, сертификата соответствия Системы ТЕКСЕРТ и экологического паспорта свидетельствует о соответствии ее установленным требованиям и способствует повышению качества и безопасности технологических процессов бурения. Включение продукции в Реестр продукции, рекомендованной для применения в топливно-энергетическом комплексе, повышает конкурентоспособность ее производителей.

Ключевые слова: буровая химия, буровые технологические жидкости, оценка соответствия, сертификат соответствия Системы ТЕКСЕРТ.

Номенклатура химической продукции для бурения скважин насчитывает десятки веществ различного функционального назначения (наименований товарных веществ – более тысячи). Разработка новой продукции идет в двух направлениях – повышение функциональной результативности и повышение технологической безопасности, в том числе путем расширения применения зеленой химии. Эти аспекты определяют качество химической продукции, а в сочетании со стоимостью, логистическими издержками и уровнем документационного обеспечения – ее конкурентоспособность [1, 2].

Требования безопасности к химической продукции регламентируются с учетом ее специфики нормативно-правовыми актами различных отраслей законодательства. Так, формы подтверждения ее соответствия требованиям установлены Федеральным законом «О техническом регулировании». Согласно закону, обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах принятия декларации о соответствии, обязательной сертификации и проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, исключительно на соответствие его требованиям.

Единые обязательные требования к химической продукции, а также оценке ее соответствия установлены Техническим регламентом ЕАЭС «О безопасности химической продукции» [3]. Однако этот законодательный акт до сих пор не вступил в силу, поэтому общие требования к химической продукции регламентируются разрозненными нормативно-правовыми актами, устанавливающими требования в зависимости от области ее применения. В корпоративных документах эти требования учитываются путем обобщения и дополнения их собственными нормами, учитывающими специфику условий применения химической продукции. Поскольку технического регламента на буровую химию нет, то подтверждение ее соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации в Системе добровольной сертификации топливно-энергетического комплекса (Система

ТЭКСЕРТ), правообладателем которой является РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

Как правило, буровая химическая продукция производится по техническим условиям и редко по национальным стандартам. Поэтому комплект сопроводительной документации при поставке такой продукции наряду с сертификатом соответствия Системы ТЭКСЕРТ должен включать, как минимум, технические условия [4], паспорт безопасности [5].

Наличие паспорта безопасности, зарегистрированного в Системе ТЭКСЕРТ, позволяет потребителям химической продукции выполнить законодательные требования в области охраны труда, экологической и промышленной безопасности. В частности, согласно статье 213.1 Трудового кодекса РФ [6] в производстве запрещается применение вредных и (или) опасных веществ, токсикологическая (санитарно-гигиеническая, медико-биологическая) оценка которых не проводилась.

Формально ГОСТ 30333-2007, как и другие документы по стандартизации, согласно ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», применяется на добровольной основе. Однако, требование наличия Паспорта безопасности химической продукции, включенное в договор поставки, делает его предоставление потребителю продукции обязательным.

Обращающиеся в бурении вещества можно разделить на товарные и нетоварные. Товарные представляют собой химическую продукцию, состав и свойства которой регламентированы стандартами и техническими условиями, и не изменяются в процессе ее обращения. К нетоварным веществам относятся буровые технологические жидкости и технологические отходы бурения (буровой шлам, отработанные буровые технологические жидкости и буровые сточные воды). Поэтому при оценке экологической безопасности бурения следует учитывать экологичность и объемы не только буровых технологических жидкостей, но и технологических отходов бурения [7–9]. Оценка экологичности веществ, обращающихся в технологических процессах, следует осуществлять с учетом изменения их состава и свойств в процессе циркуляции через скважину путем биотестирования и применения критериев уровня их техногенного воздействия на окружающую среду [10].

Информационным документом, используемым в системе обеспечения безопасного обращения химической продукции, является паспорт безопасности по ГОСТ 30333-2007. Экологически значимые свойства буровых технологических жидкостей (БТЖ) и технологических отходов бурения необходимо представлять в количественных показателях и документировать их в виде экологического паспорта.

Экологический паспорт БТЖ, состоит из разделов: общие сведения о БТЖ и условиях ее применения; состав и характеристика компонентов БТЖ; обоснование методики исследования экологичности БТЖ; оценка экологичности БТЖ; обоснование состава технологических отходов бурения, образующихся в процессе применения БТЖ; обоснование методики исследования экологичности технологических отходов бурения; оценка экологичности технологических отходов бурения; расчет класса опасности бурового шлама; правила безопасного обращения с БТЖ; сведения о наилучших доступных технологиях, используемых на стадиях жизненного цикла БТЖ.

Экологический паспорт БТЖ в совокупности с паспортом безопасности химической продукции позволит комплексно решать все вопросы, связанные с безопасным использованием веществ и материалов в бурении.

Заключение. Наличие в сопроводительной документации на поставку химической продукции качественно разработанных технических условий, паспорта безопасности и сертификата соответствия Системы ТЕКСЕРТ свидетельствует о соответствии ее установленным требованиям и способствует повышению качества и безопасности буровых работ. Включение продукции в Реестр продукции, рекомендованной для применения в топливно-энергетическом комплексе, повышает конкурентоспособность ее производителей.

Список литературы:

1. Балаба В.И. Безопасность технологических процессов бурения скважин: Учебное пособие: В 2 частях. – М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. – Ч. 1. – 296 с.

2. Балаба В.И., Шалыгин Р.К. О безопасности буровой химии // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2023. – № 9 (369). – С. 55–58.
3. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности химической продукции» (ТР ЕАЭС 041/2017).
4. ГОСТ Р 1.3-2018 Стандартизация в Российской Федерации. Технические условия на продукцию. Общие требования к содержанию, оформлению, обозначению и обновлению.
5. ГОСТ 30333-2007 Межгосударственный стандарт. Паспорт безопасности химической продукции. Общие требования.
6. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 04.08.2023, с изм. от 24.10.2023).
7. Балаба В.И., Гречищева Н.Ю., Заворотный В.Л. Природоохранные аспекты проектирования строительства скважин: Учебное пособие. – М. : Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2022. – 203 с.
8. Взаимосвязь технологической и природозащитной деятельности при бурении, освоении и эксплуатации месторождений углеводородного сырья на каспийском море / Р.М. Алиев [и др.] // Научные исследования: итоги и перспективы. – 2020. – Т. 1. – № 1. – С. 4–17.
9. Оганисян Г.А., Шалыгин Р.К. Актуальные проблемы технологии промывки нефтегазовых скважин на континентальном шельфе // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2023. – № 2 (134). – С. 32–35.
10. Заворотный В.Л., Стародубцева К.А., Запорожская А.А. Оценка токсичности дисперсионной среды буровых растворов и других систем на углеводородной основе методом биотестирования (СТО ТЭКСЕРТ 7.1-2022). – М. : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2022. – 15 с.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Шарифов
Джафар Джабраил

Азербайджанский Государственный Университет Нефти
и Промышленности
sherifov.1958@mail.ru

Зейналова
Севиля Адиль

Азербайджанский Государственный Университет Нефти
и Промышленности

Аннотация. Обоснованное выделение эксплуатационных объектов в разрезе многопластовых месторождений является фундаментом всех научно-практических работ по разработке месторождений нефти и газа. В связи с тем, что в процессе разработки параметры залежей подвержены изменениям, ранее выделенная система объектов должна периодически уточняться. Особенно это актуально для морских многопластовых месторождений, срок выработки запасов которых ограничен во времени, что связано с коррозией гидротехнических сооружений и большими затратами на их обновление. **Цель работы:** Исследования, направленные на установление сходства или различия между смежными горизонтами разреза многопластовых месторождений. На основании выделенных четких границ рассматриваются вопросы возможностей их совместной эксплуатации, как одного объекта, отдельной или одновременно-отдельной эксплуатации скважин при соответствующих технических условиях. **Объекты:** разрез объектов III тектонического блока морского месторождения Нефть Дашлары, приуроченное к Апшеронскому архипелагу Южно-Каспийской Впадины (ЮКВ). **Методы исследования:** Для обоснованного и достоверного выделения стратиграфических границ был использован метод Родионова. Предварительно на основе осредненных данных по 11 параметрам был осуществлен поиск критического значения $\chi_{g:m}^2$ при 95 % достоверности, соответствующей $m = 0,05$, на основе которого судят о состоянии границ между горизонтами. Затем с помощью реализации соответствующей программы вычисляются значения для границ смежных объектов, сравнение которых с критическим значением позволяет сделать вывод о совместной или отдельной эксплуатации этих продуктивных пластов.

Ключевые слова: выделение объектов, метод Родионова, объединение объектов, месторождение Нефть Дашлары использование запасов, изменение значений параметров.

Введение

Известно, что в течение технологического процесса геолого-промысловые показатели залежей подвержены изменениям, поэтому различия в значениях показателей смежных в разрезе объектов многопластовых месторождений со временем иногда стираются, а иногда наоборот начинают сильно расходиться. В первом случае эти показатели можно будет отнести к одной совокупности и совместная разработка этих объектов с экономической точки зрения будет наиболее эффективной и целесообразной (Abdullayeva, 2001; Bagirov, et. al., 2000–2002).

Необходимо отметить, что хотя с геологических соображений разработка каждого пласта в отдельности наиболее эффективна, с экономической точки зрения – она не рентабельна, в связи с тем, что увеличиваются материальные затраты и срок выработки извлекаемых запасов чрезвычайно удлиняется. Это особенно актуально для морских месторождений, оптимальный срок службы гидротехнических конструкций которых, исходя из мировой практики нефтедобычи, считается порядка 25–30 лет. Здесь также наряду с применением новых методов повышения нефтеотдачи пластов акту-

ально применение методов интенсификации добычи нефти, а конкретно использование одновременно-раздельной эксплуатации скважин и объединение горизонтов [1–3].

В пределах III-го блока месторождения Нефть Дашлары, являющегося предметом наших исследований, продуктивными являются горизонты от IV-го до КаС Продуктивной Толщи (нижний плиоцен). Здесь накопленная добыча нефти с начала разработки составляет 15 млн. т., а остаточные извлекаемые запасы – 2 млн т., что отражает потенциальные возможности данного блока. Для достижения поставленных целей необходимо в первую очередь проведение исследований по идентификации объектов всего разреза III-го блока, из которых КаС₃ и КаС₄ практически не разрабатываются и фактической информацией не охарактеризованы. Задача установления резкостных границ между объектами сводится к выявлению наличия кординальных изменений в поведении не одного, а всей совокупности показателей [4–5].

С этой целью нами собран и систематизирован фактический материал, установлены осредненные значения параметров по всем объектам данного блока (табл. 1).

Для достоверного решения поставленной задачи был использован критерий Родионова, вычисляемый по нижеследующей формуле:

$$v(r^2) = \sum_{j=1}^m \frac{n_1 n_2 [\bar{x}_j^{(1)} - \bar{x}_j^{(2)}]^2}{(n_1 + n_2) s_j^2},$$

где $\bar{x}_j^{(1)}, \bar{x}_j^{(2)}$ – средние арифметические признаки номером j , вычисленные для каждой из двух совокупностей, на которые разделен набор n наблюдений; n_1, n_2 – число наблюдений в этих совокупностях; s_j^2 – оценка дисперсии признака с номером j , вычисленная в предположении равенства дисперсий каждой из двух групп разделенной совокупности. Эту оценку удобно вычислять по нижеследующей формуле:

$$S_j^2 = \frac{1}{n_1 + n_2 + 1} [\sum_{t \in A_1} x_{tj}^2 + \sum_{t \in A_2} x_{tj}^2 - \frac{1}{n_1 + n_2} (\sum_{t \in A_1} x_{tj} + \sum_{t \in A_2} x_{tj})^2],$$

где A_1 и A_2 – множества, на которые разделено пространство T , причем $A_1 \cup A_2 = T$. Функцию $v(r^2)$ удобнее подсчитывать по формуле:

$$v(r^2) = \frac{n_1 + n_2 - 1}{(n_1 + n_2) n_1 n_2} \sum_{j=1}^m \frac{\left(n_2 \sum_{t \in A_1} x_{tj} - n_1 \sum_{t \in A_2} x_{tj} \right)^2}{\sum_{t \in T} x_{tj}^2 - \frac{1}{n_1 + n_2} \left(\sum_{t \in T} x_{tj} \right)^2}.$$

Если проверяемая гипотеза верна, то $v(r^2)$ будет представлять собой значение случайной величины, распределенной как χ^2 с m степенями свободы. Таким образом, гипотеза об однородности принимается, если $\max_{r^2 \in R^2} v(r^2) \leq \chi_{g,m}^2$, и отклоняется, если

$$\max_{r^2 \in R^2} v(r^2) > \chi_{g,m}^2$$

Такое дихотомическое деление изучаемой совокупности продолжается до тех пор, пока все выделенные дробные совокупности будут однородными [5].

В результате реализации программного обеспечения для выделения объектов III тектонического блока месторождения НД с использованием статистического критерия Родионова были вычислены значения для границ всех смежных объектов, сравнение которых с критическим значением позволяет сделать однозначный вывод о возможности их совместной или раздельной эксплуатации. Критическое значение степени сходства объектов с 95 %-ой вероятностью определено с помощью критерия Пирсона и составило $V(r_0^2) \chi_{0.05;11}^2 = 19,7$. Также методом Родионова с использованием соответствующего программного обеспечения были установлены значения для всех смежных объектов III-го тектонического блока многопластового месторождения НД. Если полу-

ченные значения меньше критического значения, тогда сравниваемые объекты можно считать сравнительно идентичными и наоборот, если они больше критической величины – то эти объекты сильно различаются между собой. На схеме показано предлагаемое выделение эксплуатационных объектов.

Таблица 1 – Схема выделения эксплуатационных объектов на III блоке месторождения Нефть Дашлары

Горизонты	III блок	
	Существующее выделение объектов	Предлагаемое выделение объектов
IV	IV	IV
V	V	V
VI	VI	VI
VII	VII	VII+VIIa
VIIa	VIIa	
IX	IX	IX
X	X	X
СП	СП	СП
НКГ	НКГ	НКГ
НКП	НКП	НКП
КС	КС _B	КС _B
	КС ₁	КС ₁ + КС ₂
	КС ₂	
ПК	ПК ₁	ПК ₁
	ПК ₂	ПК ₂
КаС	КаС ₁	КаС _B
	КаС ₂	
	КаС ₃	КаС ₃
	КаС ₄	КаС ₄

Таким образом, согласно полученным результатам, во всех случаях, за исключением границ между VII и VIIa; КС₁ и КС₂; КаС₁ и КаС₂ статистические границы являются надежными $V(r_0^2) \gg \chi_{g,m}^2$ целесообразно объединение в единый эксплуатационный объект залежей VII и VIIa, КС₁ и КС₂, а также КаС₁ и КаС₂ горизонтов. Проведенный геолого-промысловый сопоставительный анализ по этим залежам показывает, что полученные результаты соответствуют их текущему состоянию разработки. Остаточные извлекаемые запасы по горизонтам VII и VIIa составляют соответственно 132,0 и 167,2 млн.т, по горизонтам КС₁ и КС₂ – 46,5 и 72,5 млн.т, а по КаС₁ и КаС₂ – 32,0 и 0 млн.т. Такие низкие значения и соответствие извлекаемых запасов этих горизонтов еще раз подтверждает целесообразность их объединения и совместной эксплуатации.

Выводы:

1. В результате реализации алгоритма программы были вычислены критическое значение и соответствующие значения для границ всех смежных объектов III блока месторождения НД, на основании чего была определена степень их четкости.
2. Полученные данные и проведенный геолого-промысловый анализ позволяет сделать вывод о необходимости приобщения VII и VIIa, КС₁ и КС₂, а также КаС₁ и КаС₂ горизонтов. Их дальнейшая раздельная эксплуатация является экономически не рентабельной.
3. Объединение объектов, как известно, позволяет оптимизировать разработку многопластовых нефте-газовых месторождений, находящихся в длительной стадии

разработки, за счет эффективного использования фонда скважин. Укрупнение объектов позволяет уплотнить сетку разработки при сохранении общего фонда скважин по месторождению и не требует дополнительных материальных затрат.

Список литературы:

1. Abdullayeva L.A. Determining the expediency of the combination of exploitation facilities in the mud pilpiles field // VI Conference of the «Young Geologists» association dedicated to A. Alizade's map. – Baku: ADNA, 2001. (In Azerb).

2. Bagirov B.A., Narimanov A.A., Salmanov A.M. Principles for grouping of multihorizontal objects for joint development // International Conference on Petroleum Geology and Hydrocarbon Potential of Caspian & Black Seas Region, ASPG/EAGE. – Azerbaijan, Baku, 2002. – P. 150–153.

3. Bagirov B.A., Salmanov A.M., Nazarova S.A. Choosing of the oil objects in multihorizontal fields in the South Caspian Basin on the basis geological and mathematical modeling // AAPG's Inaugural Regional International Conference. – Turkey, Istanbul, 2000. – P. 226–227.

4. Salmanov A.M. Geological and mathematical aspects of a new approach to identifying production facilities in multi-layer deposits // Azerbaijan Oil Industry. – 2007. – № 3. – P. 23–26. (In Russian).

5. Rodionov D.A. Statistical solutions in geology. – Moscow : Nedra, 1981. – 231 p. (In Russian).

УДК 553.4

ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ГАЗДАГСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Шахбазов
Руфат Алик**

**Азербайджанский Государственный Университет Нефти
и Промышленности**
лаборант
rufetshaxbazov@gmail.com

Аннотация. Полиметаллические месторождения – это природные месторождения полезных ископаемых, состоящие из полезных ископаемых, содержащих цинк, медь, свинец, железо и другие промышленно важные металлы. Азербайджанская Республика, в свою очередь, имеет полиметаллические месторождения и проявления. Тот факт, что южный склон Большого Кавказа, входящий в состав Азербайджанского сегмента, имеет благоприятные геологические и тектонические условия для формирования полиметаллических месторождений, свидетельствует о том, что, наряду с повышенным вниманием к этому району, фундаментальные проведены геологоразведочные работы.

Ключевые слова: геологическое строение, полиметалл, пирротин, минералогический состав.

Газдагское полиметаллическое месторождение расположено на южном склоне Большого Кавказа, в Балаканском районе.

В 1964–1965 г. были продолжены геофизические работы (С.А. Мурадханов и В.В. Алексеев) на восточном и западном флангах Газдагского месторождения, детально уточнены ранее выявленные аномалии. При геофизическом изучении местности используются комплексные методы – магниторазведка, комбинированное профилирование, металлометрия и др. был использован.

В этом же году на юге Газдагского месторождения была открыта еще одна минерализованная зона (Алиев М.Н.), позже названная пятой рудной зоной (рис. 1). В результате научно-исследовательских работ установлено, что площадь месторождения в основном сложена юрскими отложениями. Литологический состав этих пород состоит из песчано-глинистых сланцев.



Рисунок 1 – Геологическая карта полиметаллического месторождения Газдаг (масштаб 1 : 200000)

В результате геофизических работ, проведенных на территории Газдагского месторождения, установлено, что площадь месторождения сложная, с разнообразными складками и трещинами. Самая большая трещина – это глубинная трещина от истощения. Рудные массы были обнаружены в основном в местах распространения этих трещин. Рудные массы имеют преимущественно прожилковое, слоистое и массивное строение.

Установлено, что вулканизм на Газдагском месторождении продолжался в 4 последовательных этапа: риолитовый, риодацитовый, андезитовый и базальтовый [3, 4].

Процесс рудообразования характеризуется 3 последовательными стадиями. Основная рудная зона месторождения приурочена к северной. Зона сложена неравномерной последовательностью филлитовых алевролитов, алевролитов и тонкослоистых песчаников, содержит покровы и потоки андезито-дацитовых и риодацитовых составов и в меньшей степени их субвулканические аналоги, а также гряды и дайки основного состава (диабазы, диабазовые порфиристы, габбро-диабазы).

Рудные месторождения сосредоточены на северном склоне Газдагской антиклинали. Здесь они занимают строго определенное положение в разрезе, проходящем по стыку между первой и второй последовательностями. Рудные массы соответствуют залеганию пород и обычно располагаются параллельно или кулисообразно друг другу.

Для изучения физико-механических свойств, минералогического и химического состава пород и рудных масс полиметаллического месторождения Газдаг широко применяется ряд методов и способов (минералого-петрографический, рентгеноспектральный, спектральный, ориентировочно-количественный, пламенно-фотометрический анализы и др.).

Породы рудного месторождения объединены в 2 группы по своим физико-механическим свойствам. К первой группе относятся глинистые сланцы, алевролиты, диабазы и габбро-диабазы, играющие экранную роль в процессе эпигенетического рудообразования. К породам второй группы относятся андезито-дацитовые, порфиритовые, риолито-порфиритовые, которые имели благоприятную роль для трещин рудопитания [5].

Газдагские руды в основном представлены такими минералами, как пирротин, пирит, галенит, сфалерит. Основными промышленно важными металлами, входящими в состав этих минералов, являются свинец, цинк и медь. Кроме перечисленных, в Газдагском полиметаллическом месторождении обнаружены такие элементы, как золото, селен, теллур, индий, кобальт, никель, германий, висмут, ртуть.

Выводы

1. В результате исследований, проведенных на Газдагском месторождении, установлено, что руды района имеют нижнеюрский возраст и в основном представлены глинистыми сланцами. Также установлено, что площадь месторождения осложнена различными трещинами и складками, а месторождение подвержено тектоническим деформациям даже после оруденения.

2. Рудная минерализация месторождения в основном представлена пиритным, пиритно-полиметаллическим, медно-пирротинным, полиметаллически-кварцевым типами. Преобладают руды медно-пирротинного типа. В рудных массах месторождения присутствуют основные промышленные металлы, такие как медь, цинк и свинец. Основные массы этих металлов сосредоточены в минералах пирита, пирротина, халькопирита и галенита.

Список литературы:

1. Сравнительное изучение структурно-геологических условий локализации руд Кацдагско-Мазымчайского колчеданно-медно-пирротинно-полиметаллического узла / Г.М. Бендизе [и др.] // Фонды КИМС. – 1979. – С. 348.
2. Геология Азербайджана. Том IV. Тектоника. – Баку : Издательство «Nafta-Press», 2005. – С. 506.
3. Геология Азербайджана, Том VI. Полезные ископаемые. – Баку : Издательство «Nafta-Press», 2005. – С. 508.

4. Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана (условия формирования, закономерности размещения, научные основы прогнозирования / под. ред. В.М. Бабазаде). – Баку : изд. «Озан», 2005. – С. 808.
5. Колчеданные месторождения Большого Кавказа / В.И. Смирнов [и др.]. – М., 1973.

Научное издание

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**Материалы XIV
Международной научной конференции**

«ТТС-23»

(22–24 ноября 2023 г.)

Статьи публикуются в авторской редакции

Технический редактор – И.И. Фоменко
Компьютерная верстка – М.Н. Гусева
Дизайн обложки – О.Я. Фоменко

Подписано в печать 24.11.2023
Бумага «Снегурочка»
Печ. л. 21,0
Усл. печ. л. 19,5
Уч.-изд. л. 17,6

Формат 60×84 ¹/₈
Печать трафаретная
Изд. № 1346
Тираж 100 экз.
Заказ № 2498

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>