

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кубанский государственный технологический университет»
(ФГБОУ ВО «КубГТУ»)

Институт «Нефти, газа и энергетики»
кафедра «Нефтегазового дела им. Г.Т. Вартумяна»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ

Материалы II Международной
научно-практической конференции,
посвященной 105-летию КУБГТУ

(18 мая 2023 г.)

Сборник статей

Краснодар
2023

УДК 622.276+622.279

ББК 33.36

П42

П42 Повышение эффективности разработки нефтяных и газовых месторождений на поздней стадии : материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию КубГТУ (18 мая 2023 г.). Сборник статей / ФГБОУ ВО «КубГТУ». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2023. – 286 с.

ISBN 978-5-91718-732-7

В сборнике представлены материалы II Международной научно-практической конференции. Конференция проведена кафедрой нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» 18 мая 2023 года для школьников, студентов, бакалавров, магистрантов, аспирантов высших учебных заведений. Данный сборник статей включает научные работы о современных исследованиях в области энергетики, нефтегазового дела, геологии и разработки нефтяных месторождений, методов увеличения нефтеотдачи пластов, проблем науки и образования, математическом моделировании природных и технологических процессов.

Сборник предназначен для преподавателей и студентов, аспирантов высших учебных заведений.

Материалы печатаются в авторской редакции.

ББК 33.36

УДК 622.276+622.279

ISBN 978-5-91718-732-7

© ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2023
© Коллектив авторов, 2023
© Оформление ООО «Издательский Дом – Юг», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	11
Ал Дакик Бахаа Сами, Аль-Идриси Мохаммед Салех, Амер Мустафа Электричество Ливана от топлива до производства солнечной энергии по мере углубления энергетического кризиса	12
Al Dakik Bahaa Sami, Al-Edresi Mohammed Saleh, Amer Mustafa Lebanon's electricity from fuel to solar energy production as energy crisis deepens	
Андрейко Н.Г., Захарченко Е.И., Курочкина С.В., Лавриченко Н.Д. Интегрированное планирование – как метод энергосбережения	21
Andreiko N.G., Zakharchenko E.I., Kurochkina S.V., Lavrichenko N.D. Integrated planning – as a method of energy saving	
Вычегжанина Е.В., Селиванец Е.И., Зубова А.С., Литвинова Т.А., Фомин А.Н. Перспективные направления использования отработанных катализаторов нефтепереработки в качестве вторичных материальных ресурсов	28
Vychegzhanina E.V., Selivanets E.I., Zubova A.S., Litvinova T.A., Fomin A.N. Promising directions of using spent oil refining catalysts as secondary material resources	
Григорьев М.А., Абгарян А.У. Методические приемы поиска нефтяных залежей в надсолевых отложениях Триасового комплекса юго-западной части прикаспийской впадины (на примере Юртовского месторождения)	38
Grigoriev M.A., Abgaryan A.U. Methodical techniques of searching for oil deposits in the above-salt deposits of the Triassic complex of the southwestern part of the caspian depression (on the example of the Yurtovsky field)	

- Григорьев М.А., Абгарян А.У.**
К вопросу о необходимости создания системы гидрогеоэкологического мониторинга при разработке залежей высоковязких нефтей термическими методами 45
- Grigoriev M.A., Abgaryan A.U.**
On the question of the need to create a system of hydrogeoecological monitoring during the development of highly viscous oil deposits using thermal methods
- Джалалов К.Э., Амер М., Аль-Идриси Мохаммед Салех, Левченко М.Р.**
Сопоставительный анализ эффективности различных технологий разработки газонефтяного месторождения с ВВН 52
- Dzhalalov K.E., Amer M., Al-Edresi M.S., Levchenko M.R.**
Comparative analysis of the effectiveness of various technologies for the development of gas and oil field with high-viscosity oil
- Джалалов К.Э., Лукманов Р.Р., Левченко М.Р.**
Оценка влияния параметров системы разработки на эффективность технологии SAGD 64
- Dzhalalov K.E., Lukmanov R.R., Levchenko M.R.**
Evaluation of the influence of the parameters of the development system on the efficiency of the sagd technology
- Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Асланян Я.В.**
Определение условий аперидичности переходных характеристик систем третьего порядка 78
- Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Aslanyan Y.V.**
Determination of conditions of aperiodicity of transient characteristics of third order systems
- Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Асланян Я.В.**
Определение условий аперидичности переходных характеристик систем четвёртого порядка 83
- Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Aslanyan Ya.V.**
Determination of conditions of aperiodicity of transient characteristics of fourth order systems

- Евдокимов Е.А., Гиляев Г.Г.,
Ульянов С.С., Аржанов К.М., Попова А.В.**
Результаты мониторинга за повышением уровня подземных вод и деформациями зданий и сооружений на примере объектов нефтегазодобычи (АО «Самаранефтегаз») 95
**Evdokimov E.A., Gilaev G.G.,
Ulyanov S.S., Arzhanov K.M., Popova A.V.**
Results of monitoring over groundwater level rise and deformations of buildings and structures on the example of oil and gas production facilities (JSC Samaraneftgaz)
- Кашин Я.М., Кириллов Г.А.,
Шаршак А.А., Шестаков Ф.А., Кузнецов Д.Н.**
Влияние переходного сопротивления на эффективность акустического способа определения места повреждения кабеля 103
**Kashin Ya.M., Kirillov G.A., Sharshak A.A.,
Shestakov F.A., Kuznetsov D.N.**
Influence of transition resistance on the efficiency of the acoustic method of determining the point of cable damage
- Кашин Я.М., Митин В.Н., Батышев А.И.**
Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения нефтегазовых месторождений 109
Kashin Ya.M., Mitin V.N., Batyshev A.I.
Use of renewable energy sources for power supply of oil and gas fields
- Кашин Я.М., Нечёсов В.Е.,
Кузнецов Д.Н., Шестаков Ф.А., Мороз В.С.**
Модернизация указателей прохождения токов короткого замыкания на подстанциях Краснодарских электросетей 116
**Kashin Ya.M., Nechesov V.E.,
Kuznetsov D.N., Shestakov F.A., Moroz V.S.**
Modernization of short-circuit current flow indicators at substations of Krasnodar power grids
- Климов В.В., Третьяк К.А., Нетребко А.А.**
Разработка малоинерционного термоанемометрического датчика для определения скорости движения жидкости или газа в нефтегазовых скважинах 122

- Klimov V.V., Tretyak K.A., Netrebko A.A.**
Development of a low-inertia thermoanemometric sensor
for determining the velocity of liquid or gas in oil and gas wells
- Копелевич Л.Е., Мараховский Е.А.,
Ким В.А., Асланян Я.В., Тулиев К.А.**
Оптимизация величины воздушного зазора
асинхронных двигателей с короткозамкнутым
и массивным ротором-барабаном 126
- Kopelevich L.E., Marakhovsky E.A.,
Kim V.A., Aslanyan Ya.V., Tuliev K.A.**
Air gap optimization asynchronous motors
with squirrel-cage and a massive rotor-drum
- Коробейников Б.А., Сидоров Д.И., Шкерета Э.Д.**
Гибридные защиты элементов
электрической сети напряжением 35–110 КВ 133
- Korobeinikov B.A., Sidorov D.I., Shkereda E.D.**
Hybrid protection elements electrical
network with a voltage of 35–110 KV
- Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М.,
Сидоров Д.И., Манукян Р.Г., Пятунин К.Е.**
Анализ самозапуска электродвигателей
нефтеперекачивающей станции «Ладожская» 137
- Korobeinikov B.A., Oppakhodzhaev A.M.,
Sidorov D.I., Manukyan R.G., Pyatunin K.E.**
Analysis of self-starting electric motors
of oil pumping station «Ladozhskaya»
- Коробейников Б.А., Оппаходжаев А.М.,
Сидоров Д.И., Манукян Р.Г., Пятунин К.Е.**
Получение частотной характеристики асинхронного
двигателя в координатах обобщенного вектора 144
- Korobeinikov B.A., Oppakhodzhaev A.M.,
Sidorov D.I., Manukyan R.G., Pyatunin K.E.**
Obtaining the frequency response of an induction motor
in the coordinates of a generalized vector
- Королева Ю.В., Гринев Д.Д.**
Анализ теплообмена в микроэлектронных устройствах
с использованием нанотехнологий 152

- Koroleva Yu.V., Grinev D.D.**
Analysis of heat transfer in microelectronic devices
usin nanotechnology
- Корякин В.В., Сыроватка В.А.,
Тищенко О.И., Сериков А.В.**
Модуль технологического цикла рационального
использования низконапорного газа сепарации 158
**Koryakin V.V., Syrovatka V.A.,
Tishchenko O.I., Serikov A.V.**
Rational technological cycle module
use of low-pressure separation gas
- Кочарян Е.В., Арушанян Р.Р., Шелест Н.А.**
Анализ процессов консолидации
в неоднородных средах 163
Kocharyan E.V., Arushanyan R.R., Shelest N.A.
Analysis of consolidation processes
in heterogeneous media
- Кушнарченко А.П.**
Гибридное управление прецизионным электроприводом
при малых перемещениях его исполнительного органа 167
Kushnarenko A.P.
Hybrid control of a precision electric drive
with small displacements of its executive body
- Ладенко Н.В., Ефременко Д.А.**
Дополнение к вопросу устойчивости энергосистемы
в нефтегазовой отрасли 176
Ladenko N.V., Efremenko D.A.
Addition to the issue of sustainability
of the energy system in the oil and gas industry
- Лукманов Р.Р., Гиляев Г.Г., Гиляев Р.Г.**
Прогнозная оценка эффективности
соляно-кислотной обработки скважин 184
Lukmanov R.R., Gilaev G.G., Gilaev R.G.
Forecast evaluation of the efficiency
of hydroclis acid well treatment

- Медведев В.А., Антониади Д.Г., Ульянов С.С.,
Хафизов В.М., Черепанов А.В., Гиляев Ген. Г.**
Применение фильтра сетевого активного (ФСА)
с целью сокращения потерь электроэнергии
в ВЛ 6 кВ при эксплуатации удаленных
от питающего фидера скважин 192
**Medvedev V.A., Antoniadis D.G., Ulyanov S.S.,
Khafizov V.M., Cherepanov A.V., Gilaev Gen. G.**
Applying a network active filter (FSA)
in order to reduce electricity losses in 6 kV overhead lines
when operating wells remote from the supply feeder
- Нехай Б.А., Неретин Н.Ю.,
Лаврентьева М.А., Костенко Р.В.**
Уменьшение количества отходов как одно
из направлений оптимизации производственных процессов
в ресторане – мировой опыт 198
**Nekhai B.A., Neretin N.Yu.,
Lavrentieva M.A., Kostenko R.V.**
Waste reduction as one from the directions of optimization
of production processes in the restaurant – world experience
- Никонов К.Р., Пинчук Т.Н.**
Низкопроницаемые коллектора
на Тарасовском месторождении 203
Nikonov K.R., Pinchuk T.N.
Low-permeability reservoirs at the Tarasovskoye field
- Орлова И.О., Даценко Е.Н.,
Авакимян Н.Н., Чермит Т.А.**
Механизм влияния упругих колебаний
на фильтрацию флюидов 209
**Orlova I.O., Datsenko E.N.,
Avakimyan N.N., Chermit T.A.**
Mechanism of analysis of elastic vibrations for fluid filtration
- Поздняк С.М., Сыроватка В.А.,
Антоненко А.М., Рядченко В.Н., А.Н. Ткачев**
Повышение надежности уплотнений
поршней триггера ДКД 216

**Pozdnyak S.M., Syrovatka V.A., Antonenko A.M.,
Ryadchenko V.N., A.N. Tkachev**
Improving seal reliability DKD trigger pistons

**Саввон Я.В., Гиляев Г.Г., Ульянов С.С.,
Орлов М.И., Чернов А.Е., Гомонов Д.В.**
Внедрение в АО «Самаранефтегаз» метода,
направленного на поиск и оперативное устранение
утечек метана силами обученного персонала общества 223

**Savvon Ya.V., Gilaev G.G., Ulyanov S.S.,
Orlov M.I., Chernov A.E., Gomonov D.V.**
Implementation in JSC «Samaraneftegaz» of the method,
aimed at finding and promptly eliminating
methane leaks by trained personnel of the company

**Самородов А.В., Мараховский Е.А.,
Колбасин С.И., Малеева А.В., Трескинская А.А.**
Повышение энергоэффективности
электропривода лифтов 227

**Samorodov A.V., Marakhovsky E.A.,
Kolbasin S.I., Maleeva A.V., Treskinskaya A.A.**
Increasing the energy efficiency of the elevator electric drive

Фурсин С.Г., Аль-Идриси Мохаммед Салех, Гнеуш В.С.
Применение гидроимпульсного воздействия
при креплении скважин в осложненных условиях 233

Fursin S.G., Al-Edresi Mohammed Saleh, Gneush V.S.
Application of hydro-pulsed influence when casting
wells in difficult conditions

Шарбатов В.А.
Влияние температуры жидкости на конструкцию насосов 245

Sharbatov V.A.
Influence of liquid temperature on pump design

Шарбатов В.А.
Применение гелевого поршня в современном мире 249

Sharbatov V.A.
The use of the gel piston in the modern world

Шарбатов В.А.

Метод подбора моделей очистки нефтепроводов 255

Sharbatov V.A.

Method of selection of oil pipeline cleaning models

Юн О.Я.

Анализ риска для кустовых площадок при эксплуатации
нефтегазоконденсатного месторождения 260

Yun O.Ya.

Risk analysis for cluster sites during the operation
of an oil and gas condensate field

ВВЕДЕНИЕ

18 мая 2023 года ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» на базе кафедры «Нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна» института «Нефти, газа и энергетики» проводил II Международную научно-практическую конференцию.

Обсуждались результаты исследовательских и научно-прикладных работ по широкому кругу вопросов, а также актуальные вопросы и проблемы освоения углеводородного потенциала России.

Поиск путей решения поставленной перед конференцией задачи проводился по следующим секциям:

- Энергетика;
- Нефтегазовое дело;
- Экология и химическая технология;
- Геология и геофизика;
- Механика и оборудование.

Были представлены также обобщающие доклады, связанные с новыми научными подходами к решению проблем добычи, транспорта, переработки и хранения нефти и газа.

Статьи в настоящем сборнике расположены согласно алфавитному порядку фамилий авторов, представивших свои доклады на конференцию.

Дирекция института «Нефти, газа и энергетики» и руководство кафедры «Нефтегазового дела им. Г.Т. Вартумяна» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» благодарят всех участников II Международной научно-практической конференции и авторов, представивших свои статьи в настоящий сборник.

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ЛИВАНА ОТ ТОПЛИВА
ДО ПРОИЗВОДСТВА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ
ПО МЕРЕ УГЛУБЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИЗИСА**

**LEBANON'S ELECTRICITY FROM FUEL TO SOLAR
ENERGY PRODUCTION AS ENERGY CRISIS DEEPENS**

Ал Дакик Бахаа Сами

магистр кафедры теплоэнергетики и теплотехники
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
bahaa.aldakik.1997@gmail.com

Аль-Идриси Мохаммед Салех

ассистент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
mohammed734488@mail.ru

Амер Мустафа

аспирант кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
mostafa.amer2023@outlook.com

Аннотация. С 1924 года Ливан планировал использовать возобновляемую энергию и, в частности, гидравлическую энергию для производства электроэнергии для удовлетворения национальных потребностей. До начала 70-х правительство сделало много шагов, и в 1974 году около 41,5 % ливанской электроэнергии производилось на гидроэлектростанциях. К сожалению, с тех пор и из-за нестабильности политического режима электростанции и сети страдали от разрушений, старения, повышенного спроса, взлома и многих других факторов ухудшения. Поэтому и на основании всех последних упомянутых проблем электроэнергетика Ливана превратилась в главную экономическую и экологическую проблему. В этой статье представлен анализ фактического состояния

электроэнергетического сектора в Ливане с акцентом на его влияние на загрязнение воздуха и на развитие заводов и малых предприятий. Таким образом, будет показано, что проблема с электроэнергетическим сектором в основном связана с тем, что старые сети легко взломать, сильная зависимость от электроэнергии на основе топлива, что приводит к увеличению загрязнения воздуха без удовлетворения спроса на потребление энергии. Это недопроизводство электроэнергии приводит к развитию параллельного электроэнергетического частного сектора, также основанного на сжигании топлива, что усугубляет проблемы загрязнения воздуха, несмотря на все меры, принятые правительствами по переходу на более экологичное производство электроэнергии.

Ключевые слова: солнечная энергия; сжигание ископаемого топлива; загрязнение воздуха.

Al Dakik Bahaa Sami

Master of the Department of Heat Power Engineering
and Heat Engineering, Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State University of Technology
bahaa.aldakik.1997@gmail.com

Al-Edresi Mohammed Saleh

Assistant of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State University of Technology
mohammed734488@mail.ru

Amer Mustafa

postgraduate student of the department of oil and gas business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State University of Technology
mostafa.amer2023@outlook.com

Annotation. Since 1924, Lebanon planned to use renewable energy and in particular hydraulic energy to produce the national need of electricity. Until the beginning of the 70, many steps have been achieved by the government where in 1974 around 41.5 % of the Lebanese electricity was produced from hydroelectric stations. Unfortunately, since then and due to the instability in the political regimen,

electric plants and networks suffered from destruction, aging, increased demand, hacking and many other deterioration factors. Therefore, and based on all the last-mentioned troubles the electric sector in Lebanon transformed to be the major economic and environmental problem. This paper aims at presenting and analyzing the actual state of the electric sector in Lebanon emphasizing on its impact on air pollution and on the development of factories and small enterprises. Therefore, it will be shown that the problem with the electrical sector is essentially due to the old networks easily hacked, strong reliance on fuel-based electricity, which leads to increased air pollution without meeting the energy consumption demand. This underproduction of electrical energy leads to the development of a parallel electrical private sector also based on fuel burning what worsened air pollution problems despite all the measures taken by the governments to switch to greener electricity production.

Keywords: solar energy; burning fossil fuels; air pollution.

Введение

Как и большинство современных стран, Ливан страдает от энергетических проблем на уровнях производства, потребления и сбережения. Главным последствием является деградация окружающей среды и загрязнение воздуха. К сожалению, одной из основных причин загрязнения воздуха в Ливане после транспорта является электроэнергетика из-за классического и неразвитого способа генерации [1].

Ливанское учреждение по производству электроэнергии (EDL, Electricité du Liban) было создано в 1964 году. Оно обеспечивало распределение электроэнергии до 90 % на территорию Ливана. В 1974 году учреждение EDL произвело 1700 ГВтч электроэнергии. 41,5 % этой произведенной электроэнергии приходилось на гидроэлектростанции, в то время как производство небольших частных компаний составляло 0,296 ГВтч, что составляет менее 0,02 % производства EDL.

Этот сектор, который должен был превратить часть производства энергии в Ливане в возобновляемые источники энергии, такие как гидравлическая энергия и солнечная энергия [1], но, к сожалению, он превратился в смертоносное оружие-загрязнитель.

В действительности из-за гражданской войны, начавшейся с 1975 г. и продолжавшейся до 1990 г., военные действия разрушили несколько тепловых электростанций и линий электропередач. Этот закон подтолкнул людей к использованию нескольких загрязняющих средств производства энергии, таких как дизель-генераторы (ДГ), которые не соблюдают международные нормы (плохое качество используемого топлива и техническое обслуживание), а также производство тепловой энергии для нагрева воды путем сжигания загрязняющих металлов (колеса и мебель).

После 90-х годов производство электроэнергии в Ливане зависело в основном от ископаемого топлива и страдало от многих технических и нетехнических потерь, таких как незаконные подключения и манипуляции со счетчиками [2; 3]. В 2003 году производство электроэнергии достигло 10,5 ТВтч, при этом 87 % этой электроэнергии производится с газойлем, дизельным топливом и мазутом (последние три источника представляют 92 % импортируемого нефтепродукта, а остальные 8 % импорта распределяются между собой), а остальные 13 % электроэнергии вырабатываются гидроэлектростанциями. Стоит отметить, что производство гидроэлектростанций упало до 4,5 % в 2009 году из-за отсутствия технического обслуживания и старения материалов.

Несмотря на усилия, предпринятые после 1992 г. для возобновления работы этого сектора, вырабатываемая мощность не могла удовлетворить постоянно растущие потребности общества. Кроме того, этому уже старому и ослабленному сектору пришлось столкнуться с проблемой удовлетворения потребностей миллионов неожиданных беженцев из разных стран, прилетевших в Ливан за очень короткое время. Поэтому министерство энергетики не смогло организовать и внедрить решения проблемы избыточного спроса и потребления энергии. Недавно навязанная ливанскому правительству проблема, связанная с чрезмерным потреблением, привела к серьезной нехватке часов подачи электроэнергии, когда менее чем за год численность населения увеличилась примерно на 25 % от общего числа граждан, проживающих в Ливане.

Вышеупомянутые причины привели к отключению электроэнергии в течение года, которое во многих регионах Ливана могло достигать в среднем 13 часов в день; это подтолкнуло потребителей к поиску альтернативных решений путем развития частных сетей параллельно с государственным сектором (EDL).

Производство электроэнергии в Ливане с точки зрения мощности, эффективности и производства было исследовано многими организациями, такими как Организация Объединенных Наций, Всемирный банк, Международный валютный фонд, Гринпис, и было доказано, что этот сектор нуждается в восстановлении, реорганизации и обслуживании со стороны возобновляемая энергия. Кроме того, местные и международные исследователи согласились с тем, что последние упомянутые реформы абсолютно необходимы для достижения следующих целей:

Уменьшить загрязнение воздуха, тем самым уменьшив его разрушительное воздействие на здоровье человека, животных, растения, почву, строительные материалы, другими словами, на всю экосистему страны, которая серьезно пострадала от безответственной практики в течение 20 лет.

Продвигайте предприятия и возрождайте промышленный сектор, шаг, который откроет двери для новых возможностей для работы, конкурсов и производства, соответствующих международным нормам.

Текущее состояние электроэнергетического сектора Ливана

Электричество является серьезной и болезненной проблемой в Ливане, последствия которой достигли уровня, когда наносится серьезный ущерб государственным финансам.

Этот неблагополучный во многих масштабах сектор, управляемый правительством, стал бременем для государственных финансов, домохозяйств, общественного здравоохранения и всей ливанской экосистемы. Кроме того, он по-прежнему не может надежно поставлять электроэнергию, необходимую для промышленности, торговли и жилых домов, что влечет за собой значительные экономические и социальные издержки.

Проблемы

Electricite du Liban (EDL), государственная компания, отвечающая за производство, распределение и передачу электроэнергии, сталкивается с четырьмя важными проблемами [2; 3].

- Во-первых, генерирующие мощности EDL значительно ниже потребительского спроса, особенно за последние десять лет, когда в стране внезапно произошло увеличение численности населения примерно на 1500000 человек без какой-либо предварительной подготовки или планирования.

Фактически, после войны (1975–1990 гг.) инфраструктура EDL была повреждена и не использовалась, что снизило производственные возможности. С 1992 года был разработан и реализован план реконструкции и реабилитации мастерской электроэнергетики, но он оказался неэффективным и недостаточным, поскольку разрыв между выработкой электроэнергии ЛЭП и общим потреблением электроэнергии все еще увеличивается с каждым годом. Согласно отчету, опубликованному международным валютным фондом, спрос на электроэнергию в Ливане увеличивается на 500 МВт каждые пять лет, причем негативное влияние этой цифры на общество усугубляется сокращением поставок электроэнергии. Разрыв между производством и потреблением составлял около 22 % в 2008 году и, как ожидается, достигнет 56 % в 2025 году. Это связано со старением электростанций с высокими затратами на техническое обслуживание и работой ниже их номинальной мощности, что приводит к отключениям электроэнергии не менее трех часов в день в Бейруте и до двенадцати часов за пределами Бейрута.

Были реализованы некоторые решения, такие как восстановление электростанций, создание фотоэлектрических и ветряных ферм и временная аренда барж с электроэнергией. Тем не менее, зеленые электростанции все еще находятся в стадии строительства, и перебои в подаче электроэнергии остаются прежними по всей стране. Это связано с внезапным увеличением численности населения и его последующими последствиями для увеличения потребления электроэнергии, которое оценивается примерно в 500 дополнительных мегаватт. Увеличение мощности, которое требуется от системы генерации, уже страдающей от большого разрыва между спросом и предложением. Это бремя лишает гражданина Ливана пяти дополнительных часов снабжения в часы пик, что дополнительно ухудшает промышленный сектор и экономику страны.

Чтобы компенсировать перебои с электричеством, граждане Ливана разработали сети снабжения, состоящие из дорогих частных генераторов, размещенных в подвалах зданий, на парковках и в переулках возле жилых домов. Эти сети чрезвычайно загрязняют окружающую среду, шумны и не соответствуют международным нормам [3].

- Во-вторых, EDL несет технические и нетехнические потери в передающих и распределительных сетях. EDL оценивает

технические потери примерно в 19 %, тогда как нетехнические потери из-за незаконных подключений к сети достигают 21 %.

- В-третьих, несмотря на то, что существует соглашение о необходимости реформирования электроэнергетического сектора, проведение реформы оказалось трудным. Многие планы реформ были разработаны, но так и не были реализованы. Самая последняя попытка была предпринята в 2019 году, когда министерство энергетики и водных ресурсов обновило Политический документ для энергетического сектора, разработанный в 2010 году. Кабинет министров и парламент одобрили эту реформу в апреле 2019 года. Они согласовали четыре пункта, которые должны сократить дефицит EDL, а именно:

1. Сокращение потерь за счет улучшения структуры поставщика распределительных услуг (DSP) и распределительной сети, установки интеллектуальных счетчиков и временного снижения стоимости подписки.

2. Увеличение мощности за счет строительства новых электростанций.

3. Снижение себестоимости за счет использования газа вместо топлива.

4. Повышение тарифов после круглосуточной подачи электроэнергии и внедрения механизма автоматической индексации топлива.

- В-четвертых, EDL сталкивается с финансовыми проблемами, поскольку большая часть производимой электроэнергии основана на тяжелом топливе и дизельном топливе, что приводит к высоким эксплуатационным расходам. Затраты, которые не собираются полностью, потому что EDL в настоящее время применяет структуру устаревших тарифов с низкой стоимостью, где ставки не изменились с 1996 года, а также из-за неоплаченных счетов, которые составляют 5 % от общих убытков фирмы.

Все эти энергетические вызовы по-разному и в разных эшелонах негативно влияют на общество. Влияние причиненного недостатка и последствий вышеописанных проблем на предприятия и загрязнение воздуха исследовано в нижеследующих пунктах.

В настоящее время все предприятия зависят от благоприятной среды, которая укрепляет способность компаний развиваться, то есть выживать, создавать рабочие места, инвестировать, внедрять инновации и быть конкурентоспособными. Надежное элек-

троснабжение имеет большое значение для экономического роста. Таким образом, нехватка электроэнергии, плохая производительность и необходимость полагаться на дорогостоящие частные генераторы влияют на конкурентоспособность бизнеса в Ливане из-за огромных экономических потерь и приводят к упущенным экономическим возможностям. Об этом свидетельствует исследование, проведенное Всемирным банком, в котором нехватка электроэнергии указана как второе препятствие для конкурентоспособности после политической нестабильности.

Воздействие на загрязнение воздуха и здоровье

Высокая зависимость EDL от мазута и дизельного топлива не только увеличивает стоимость производства, но и приводит к загрязнению воздуха, поскольку при сжигании таких видов топлива образуются твердые частицы, а также токсичные газы, такие как NO и CO₂. Более того, перебои с электричеством вынудили горожан полагаться на частные дизель-генераторы. Выбросы таких генераторов усугубляют проблемы загрязнения воздуха до такой степени, что Гринпис классифицировал город Джуния, расположенный недалеко от теплоэлектростанции Зука, как 5-й по величине загрязненный воздух город в арабском мире.

Те загрязняющие вещества, которыми мы дышим, приводят к неблагоприятным физическим и психическим проблемам со здоровьем, таким как тревожность, депрессия, проблемы с вниманием, повышенная преждевременная смертность, астма, сердечно-сосудистые заболевания, рак легких и другие легочные заболевания.

Электроэнергетика Ливана достигла критической ситуации и нуждается в эффективных и быстрых решениях.

Выводы

Энергетический сектор Ливана требует реабилитационной модернизации и перехода от сжигания ископаемого топлива к сбору возобновляемой энергии. Переход на гидроэлектростанции – самый простой выбор, поскольку станции уже существуют, а страна считается очень богатой источниками воды. Однако производство гидравлической энергии не может быть эффективным решением само по себе из-за изменения климата, с которым мы сталкиваемся в последнее время, случайного уменьшения количества осадков в некоторые годы и потому, что его стоимость все еще высока.

Еще одним ценным и очень эффективным возобновляемым ресурсом, который можно добывать, является солнечная энергия, поскольку в Ливане светит более 3000 часов солнечного света. Такой шаг по переходу на солнечную энергию требует установки фотоэлектрических ферм на национальном и индивидуальном уровнях, где крайне необходимо государственное вмешательство на финансовом и техническом уровнях в начале, пока солнечный сектор не станет самопроизводительным и удовлетворяющим с точки зрения энергии и финансы.

Более экологичное решение состоит в изменении существующих правительственных законов и разрешении частным лицам продавать излишки энергии, производимой возобновляемыми источниками, правительству (сетевое решение), темп, который может иметь взаимные выгоды либо для экономики, либо для сокращения загрязнения, защита окружающей среды и польза для здоровья.

Затраты на производство энергии одновременно за счет сжигания топлива и сбора солнечной энергии были оценены на основе инвестиционных затрат, затрат на потребление, затрат на техническое обслуживание, углеродного следа и экологических затрат. Разница в стоимости между электроэнергией, произведенной из топлива, и электроэнергией, произведенной из солнечной энергии, без всяких сомнений показала, что правительству следует серьезно и в ближайшее время подумать о переходе на производство солнечной энергии.

Список литературы

1. Использование возобновляемых источников энергии в Ливане: барьеры и решения. *Renew Sustain Energy Rev.* – 2012.
2. Электроэнергетика и энергетическая политика в Ливане. Глоб. сеть Энергетическая поддержка. – 2005.
3. Энергетический статус в Ливане и план реформы производства электроэнергии на основе оптимизации затрат и загрязнения. *Renew Sustain Energy Rev.* – 2013.

List of references

1. Renewable energy use in Lebanon: Barriers and solutions (*Renew Sustain Energy Rev.* – 2012).
2. Electric energy & energy policy in Lebanon (*Glob. Netw. Energy Sustain.* – 2005).
3. Energy status in Lebanon and electricity generation reform plan based on cost and pollution optimization (*Renew Sustain Energy Rev.* – 2013).

**ИНТЕГРИРОВАННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ –
КАК МЕТОД ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**INTEGRATED PLANNING –
AS A METHOD OF ENERGY SAVING**

Андрейко Наталья Геннадьевна

кандидат технических наук,
доцент кафедры Теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
89882481491@mail.ru

Захарченко Евгения Ивановна

кандидат технических наук,
заведующая кафедрой
Геофизических методов поиска и разведки,
Кубанский государственный технологический университет
89882481491@mail.ru

Курочкина Софья Вадимовна

студентка кафедры Теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
kursophia@gmail.com

Лавриченко Никита Денисович

студент кафедры Теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
nikitalavrichenko@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается использование метода планирования развития энергетической инфраструктуры на основе комплексного подхода к реализации возможностей энергосбережения в сферах производства и конечного потребления энергии.

Ключевые слова: энергетическая политика, интегрированное планирование ресурсов, производство энергии, энергоэффективность, прогнозирование.

Andreiko Natalia Gennadievna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Thermal Power Engineering and Heat Engineering,
Kuban State Technological University
89882481491@mail.ru

Zakharchenko Evgeniya Ivanovna

Candidate of Technical Sciences
Head of the Department of Geophysical Methods
of Prospecting and Exploration,
Kuban State Technological University
89882481491@mail.ru

Kurochkina Sofya Vadimovna

Student of the Department
of Heat Power Engineering and Heat Engineering,
Kuban State Technological University
kursophia@gmail.com

Lavrichenko Nikita Denisovich

Student of the Department
of Heat Power Engineering and Heat Engineering,
Kuban State Technological University
nikitalavrichenko@gmail.com

Annotation. The article discusses the use of the method of planning the development of energy infrastructure based on an integrated approach to the implementation of energy saving opportunities in the areas of production and final energy consumption.

Keywords: energy policy, integrated resource planning, energy production, energy efficiency, forecasting.

Энергетическая отрасль является одним из стратегических направлений мировой безопасности, обеспечивает непрерывную работу промышленности, транспорта, коммунальных систем и служб. Безопасность и управление рисками обеспечивает само существование энергетики и ее жизнеспособность. Но в связи с постоянным стремлением человечества улучшить свою жизнь, темпы производства постоянно ускоряются. Это отражается на безопасности и в первую очередь на безопасности энергетики в целом, и теплоэнергетики в частности.

На территории Российской Федерации действуют 490 тепловых электростанций единичной мощностью свыше 5 МВт, из них 2/3 станций относятся к объектам электроэнергетического комплекса. Свыше 187 тыс. котельных, в том числе 18 тыс. жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), обслуживают население и промышленные предприятия различных отраслей. Протяженность тепловых сетей в двухтрубном исчислении составляет 250 тыс. км, а воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше – 662 тыс. км.

Примерно 40 % основного оборудования электростанций выработало свой ресурс, эксплуатационный КПД котлов на объектах малой мощности (общее количество котельных единичной производительностью ниже 3 Гкал/ч превышает 100 тыс.) ниже проектного в среднем на 20 %, а удельный расход топлива на таких установках на 40–50 кг/Гкал больше, чем на ТЭЦ и крупных котельных.

Неудовлетворительное состояние большинства тепловых сетей является причиной громадных затрат энергии на транспорт и распределение тепла у потребителей. В тепловых сетях от ТЭЦ общего пользования теряется около 25 млн т.у.т. (в том числе 15–17 млн т.у.т. – сверхнормативные потери), в распределительных тепловых сетях от крупных источников и в сетях от котельных мощностью менее 20 Гкал/ч – 55–60 млн т.у.т. (из них 30–40 млн т.у.т. – сверхнормативные). Примерно 1/3 всех потерь приходится на тепловые сети малого диаметра (50–80 мм).

Низкое качество теплотрасс и эксплуатация низкоэкономичного оборудования приводят к значительному (свыше 100 млн т.у.т.) перерасходу топлива и, как следствие, к ухудшению экономических и экологических показателей работы энергопредприятий.

Особенно велики затраты тепловой энергии в жилищно-коммунальном секторе на нужды отопления и горячего водоснабжения. Здесь исключительно перспективным считается улучшение теплоизолирующих свойств строительных конструкций зданий и повсеместное внедрение учета потребляемого тепла. Максимальный эффект для России могло бы дать энергосбережение в случае глубокой структурной перестройки всех отраслей народного хозяйства в направлении увеличения доли отраслей промышленности и народного хозяйства, характеризующихся наибольшей эффективностью и наименьшей энергоемкостью, на

основе широкого внедрения достижений науки и техники и прежде всего в машиностроении, электронике, вычислительной технике и производстве прогрессивных материалов. Однако к таким кардинальным изменениям на этапе перехода к рыночной экономике народное хозяйство страны не готово, так как для этого требуются большие капитальные вложения, в том числе и государственные, практически во все отрасли народного хозяйства, а также длительное время на их освоение.

Вместе с тем в нашей стране и за рубежом на многих предприятиях и в быту реализованы многочисленные энергосберегающие технологии, оборудование, системы регулирования, приборы и различные организационно-технические мероприятия, не требующие значительных капитальных вложений, материальных ресурсов и времени на их реализацию

Наиболее эффективно эти возможности могут быть реализованы через систему интегрированного планирования энергетических ресурсов (ИПЭР), разработанную в США в начале 80-х годов и успешно внедряемую в настоящее время в Северной Америке, Западной Европе, Латинской Америке и Австралии.

Интегрированное планирование – процесс создания оптимального интегрированного плана (ИП) на базе существующих производственных планов, контроля исполнения ИП на основе фактической информации и построения оперативного прогноза для выполнения целевых производственных показателей на плановый период с учетом заданных технологических, ресурсных, логистических и экономических ограничений.

Процесс интегрированного планирования наиболее эффективен для производств с множеством основных и обеспечивающих производственных служб, таких как нефтегазодобыча, геологоразведка, нефтесервис и энергетика.

Сущность системы ИПЭР заключается в том, что все главные параметры процесса энергоснабжения: спрос на энергию, ввод энергомощностей, энергосбережение, загрязнение окружающей среды, инвестиции в электроэнергетику рассматриваются и планируются в тесной взаимосвязи.

Целью ИПЭР является минимизация затрат не на производство кВт·ч электроэнергии или Гкал тепла, а на оказание энергетических услуг, то есть энергетическое обеспечение заданных результатов конечной деятельности потребителей: производство продукции, работ, услуг, создание заданного уровня бытового комфорта при минимальном загрязнении окружающей среды.

Практика применения метода ИПР [2] показывает, что при традиционном подходе на источниках энергоснабжения при традиционных методах планирования закладывается генерирование мощности энергокомпаний; риски не учитываются или учитываются косвенным путем; учет экологического фактора ведется косвенно через соответствующие затраты.

При ИПР дополнительно учитывается энергосбережение у потребителей, а также появление в этом секторе независимых производителей энергии в данном регионе; разрабатываются специальные меры по снижению неопределенности и связанного с ней риска; учет экологического фактора ведется непосредственно через экологические критерии.

В результате в выигрыше окажутся все заинтересованные стороны.

Энергокомпании снижают инвестиционные риски при создании капиталоемких генерирующих мощностей. У потребителей растут надежность и качество энергоснабжения, появляются возможности снижения тарифов, доступ к прогрессивным энергоэффективным технологиям. В регионе за счет энергосберегающих мероприятий и ВИЭ повышаются уровень энергетической независимости, гибкость и адаптивность энергосистем, улучшается общее экономическое положение.

В рамках ИПР процесс планирования существенно отличается от традиционного и включает следующие этапы.

1. Определение целей планирования.
2. Прогнозирование электрических и тепловых нагрузок потребителей.
3. Анализ имеющихся генерирующих мощностей баланса энергии и мощности энергосистемы в пределах горизонта планирования.
4. Оценка ресурсов для развития со стороны спроса на энергию за счет потенциала повышения энергоэффективности в потреблении.
5. Оценка ресурсов для развития со стороны производства за счет потенциала повышения энергоэффективности в генерировании.
6. Анализ экологических последствий по каждому варианту развития энергосистемы.
7. Анализ неопределенностей и рисков.

Такой подход правомерен вследствие того, что каждый кВт·ч эл. энергии может произвести различное количество продукции и услуг в зависимости от уровня эффективности его использования. Таким образом, решение задачи бесперебойного надежного энергообеспечения потребителей осуществляется не столько за счет увеличения поставок энергии, где критерием является количество произведенных киловатт-часов, и не только за счет повышения эффективности производства, транспорта и распределения энергии, но и за счет повышения эффективности её использования у конечных потребителей, то есть за счет энергосбережения.

Список литературы

1. Гительман Л.Д. Энергетический бизнес / Л.Д. Гительман, Б.Е. Ратников. – М. : Дело, 2006. – 600 с.
2. Экономия электроэнергии в сельском хозяйстве / Р.Р. Арушанян [и др.] // REFERATOTECH. Материалы III международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 31–33.
3. Малышев Е.А. Механизмы планирования развития электроэнергетической системы региона / Е.А. Малышев, А.Н. Кашурников // Экономика региона. – 2015. – № 4. – С. 214–225.
4. Макаров А.А. Методические рекомендации по разработке энергетической стратегии. Формирование энергетической стратегии России. – М. : Папирус ПРО, 2001. – 25 с.
5. Ланкина С.А. Классификация и проблемы оценки рисков промышленного предприятия / С.А. Ланкина, В.И. Флегонтов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7. – № 2.
6. Проблемы энергосбережения в ЖКХ / Р.Р. Арушанян [и др.] // REFERATOTECH. Материалы III Международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 43–45.
7. Любарская М.А. Управление реализацией энергоэффективных проектов на основе интегрированного подхода // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2014. – № 1(19). – С. 96–104.
8. Андрейко Н.Г. Использование гелиосистем в теплоснабжении объектов Краснодарского края / Н.Г. Андрейко, Р.Р. Арушанян, Т.А. Леонова // REFERATOTECH. материалы Международной научно-практической конференции : в 3 т. – Краснодар, 2020. – С. 16–19.
9. Андрейко Н.Г. Анализ экологического состояния атмосферы при эксплуатации газотранспортных объектов / Н.Г. Андрейко, Р.Р. Арушанян, О.С. Бальжунист // REFERATOTECH. материалы Международной научно-практической конференции : в 3 т. – Краснодар, 2020. – С. 24–26.

List of references

1. Gitelman L.D. Energy business / L.D. Gitelman, B.E. Ratnikov. – M. : Delo, 2006. – 600 p.

2. Energy saving in agriculture / R.R. Arushanyan [et al.] // REFERATOTECH. Materials of the III international scientific-practical conference. – 2022. – P. 31–33.
3. Malyshev E.A. Mechanisms for planning the development of the electric power system of the region / E.A. Malyshev, A.N. Kashurnikov // Economics of the region. – 2015. – № 4. – P. 214–225.
4. Makarov A.A. Guidelines for developing an energy strategy. Formation of the energy strategy of Russia. – M. : Papyrus PRO, 2001. – 25 p.
5. Lankina S.A. Classification and problems of assessing the risks of an industrial enterprise / S.A. Lankina, V.I. Flegontov // Internet journal «Science Studies». – 2015. – Vol. 7. – № 2.
6. Problems of energy saving in housing and communal services / R.R. Arushanyan [et al.] // REFERATOTECH. Materials of the III international scientific-practical conference. – 2022. – P. 43–45.
7. Lyubarskaya M.A. Management of the implementation of energy-efficient projects based on an integrated approach // Theory and practice of service: economics, social sphere, technologies. – 2014. – № 1(19). – P. 96–104.
8. Andreiko N.G. The use of solar systems in the heat supply of objects in the Krasnodar Territory / N.G. Andreiko, R.R. Arushanyan, T.A. Leonova // REFERATOTECH. Materials of the International Scientific and Practical Conference : in 3 vol. – Krasnodar, 2020. – P. 16–19.
9. Andreiko N.G. Analysis of the ecological state of the atmosphere during the operation of gas transportation facilities / N.G. Andraiko, R.R. Arushanyan, O.S. Balzhunist // REFERATOTECH. Materials of the International Scientific and Practical Conference : in 3 vol. – Krasnodar, 2020. – P. 24–26.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ
КАТАЛИЗАТОРОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ В КАЧЕСТВЕ
ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

**PROMISING DIRECTIONS OF USING SPENT OIL REFINING
CATALYSTS AS SECONDARY MATERIAL RESOURCES**

Вычегжанина Екатерина Владимировна

студентка направления подготовки
18.03.01 «Химическая технология»,
Кубанский государственный технологический университет
Vychegzhanina18@yandex.ru

Селиванец Екатерина Игоревна

студентка направления подготовки
18.03.01 «Химическая технология»,
Кубанский государственный технологический университет
eselivanets@yandex.ru

Зубова Александра Сергеевна

студентка направления подготовки
18.03.01 «Химическая технология»,
Кубанский государственный технологический университет
xameleon5523@gmail.com

Литвинова Татьяна Андреевна

кандидат технических наук,
доцент кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
soleado_sta@mail.ru

Фомин Алексей Николаевич

начальник испытательной лаборатории
«Стройэкспертэкология»
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье рассмотрен способ использования отработанных катализаторов в качестве вторичных материальных ресурсов. Более трех четвертей продукции нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности производится с ис-

пользованием катализаторов, которые впоследствии необходимо переработать. Целесообразно вовлечение отработанных катализаторов в ресурсооборот, что соответствует принципам наилучших доступных технологий.

Ключевые слова: отработанные катализаторы, утилизация, переработка, вторичные материальные ресурсы, экологическая безопасность, наилучшие доступные технологии.

Vychegzhanina Ekaterina Vladimirovna

Student Training Programs 18.03.01 Chemical Engineering,
Kuban State Technological University
Vychegzhanina18@yandex.ru

Selivanets Ekaterina Igorevna

Student Training Programs 18.03.01 Chemical Engineering,
Kuban State Technological University
eselivanets@yandex.ru

Zubova Alexandra Sergeevna

Student Training Programs 18.03.01 Chemical Technology,
Kuban State Technological University
xameleon5523@gmail.com

Litvinova Tatiana Andreevna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
soleado_STA@mail.ru

Fomin Alexey Nikolaevich

Head of the testing laboratory «Stroyexpertekologiya»,
Kuban State Technological University

Annotation. This article discusses the method of using spent catalysts as secondary material resources. More than three-quarters of petrochemical and refining products are produced using catalysts, which then need to be recycled. It is advisable to involve spent catalysts in the resource cycle, which corresponds to the principles of the best available technologies.

Keywords: spent catalysts, utilization, recycling, secondary material resources, environmental safety, best available technologies.

Сегодня в мировой экономике сложилась тенденция, в соответствии с которой должно выпускаться как можно больше разновидностей нефтепродуктов, их объемы и качество также должны расти. Результатом этого стало то, что более трех четвертей всей продукции нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности производится с использованием катализаторов, которые имеют свойство необратимо снижать свою активность с течением времени и вследствие отложения углеродсодержащих соединений на их поверхности.

Утратившие активность катализаторы накапливаются в виде больших масс не утилизируемых отходов III и IV класса опасности, образующих при наземном складировании пыль, а под действием осадков – загрязненные водные стоки [1]. Целесообразнее перерабатывать эти отходы, применяя современные достижения науки и техники в соответствии с принципами наилучших доступных технологий.

Одним из основополагающих критериев отнесения технологии к НДТ является стимулирование повторного использования отходов. Перспективны технологии переработки выработавших свой ресурс катализаторов с последующей их рециклизацией, то есть с применением в качестве вторичного материального сырья [2–3].

Важным механизмом регулирования области обращения с отходами является законодательство. Так с 01 марта 2023 г. вступил в силу Федеральный закон № 268-ФЗ, который внес принципиально новые дополнения в отношении вторичных ресурсов, вторичного сырья и побочных продуктов производства: требования к обращению с вторичными ресурсами (ст. 171 Федерального закона № 89-ФЗ), требования при обращении с побочными продуктами производства (ст. 514 Федерального закона № 7-ФЗ). Согласно ч. 2 ст. 51.1 Федерального закона № 7-ФЗ лица, в результате деятельности которых образуются не являющиеся продукцией производства вещества (предметы), могут самостоятельно осуществлять их отнесение к отходам либо побочным продуктам производства вне зависимости от факта их включения в федеральный классификационный каталог отходов. При этом к побочным продуктам могут относиться вещества (предметы), образующиеся при производстве основной продукции (выполнении работ и оказании услуг) и не являющиеся целью данного производства, если такие вещества (предметы) пригодны в качестве сырья в производстве либо для потребления в качестве продук-

ции. Побочные продукты не признаются отходами (за исключением отдельных случаев) и, соответственно, на них не распространяются нормы законодательства в области обращения с отходами. Следовательно, принятые нововведения позволят компаниям преобразовывать отходы во вторичный материальный ресурс, обеспечивая экономику замкнутого цикла.

При этом важным требованием отнесения технологий к НДТ является возможность вторичного использования продуктов утилизации, с учетом области дальнейшего применения, желаемых характеристик и свойств будущего вторичного материального ресурса. С одной стороны, это позволит снизить экологическую нагрузку, а с другой – обеспечить более рациональное использование природных ресурсов, заменяя первичное сырье на вторичное. Также при обезвреживании отходов не должно происходить большего загрязнения окружающей среды. Данные аспекты обращения с отходами легли в основу разработанного нами комплексного подхода к обезвреживанию нефтесодержащих шламов [4].

Направления использования отработанных алюмосиликатных катализаторов в качестве добавок при изготовлении строительных материалов представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Направления применения отработанных алюмосиликатных катализаторов в качестве вторичного материального ресурса

Сокращение запасов традиционного природного сырья заставляет искать новые способы его замещения различными видами отходов. Опыт передовых зарубежных стран показал техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения. Вместе с тем из отходов или из отходов в комбинации с природным сырьем могут быть изготовлены практически все основные строительные материалы [5]. За счет содержания глинозема значительно повышается стойкость к высоким температурам, давлению и химическому воздействию строительных материалов. При этом роль кремнезема не менее важна, он повышает механическую прочность и морозостойкость продукции [6].

Анализ технических решений отобранных патентных документов по направлениям использования отработанных катализаторов на основе алюмосиликатов в качестве вторичных материальных ресурсов показал следующие решаемые ими задачи и достигаемые технические результаты:

- композиция для изготовления жаростойких бетонов (патент KZ 31461) [7]. Технология заключается в разработке состава композиции для повышения предела прочности при сжатии и термостойкости жаростойких бетонов, которые достигаются добавлением в композицию на основе фосфорной кислоты и отработанного катализатора карбонатсодержащий отход производства щебня, алюмокальциевый шлам и шлам щелочного травления алюминия и его сплавов.

- композиция для изготовления жаростойких композитов (патент РФ 2626488) [8]. В состав запатентованной композиции входит отработанный катализатор ИМ-2201, щебень фракции 5–10 мм, фосфорная кислота и алюмохромистые отходы травления алюминиевых сплавов, а также микрокремнезем от производства ферросилиция со средним размером частиц не более 0,25 мм. Технический результат: повышение механической прочности и термостойкости жаростойкого композита (бетона), утилизация промышленных отходов, охрана окружающей среды, расширение сырьевой базы для строительных материалов

- получение огнеупорного пористого заполнителя осуществляется на основе жидкого стекла и отработанного катализатора, предназначенных для получения легких бетонов и огнеупорных теплоизоляционных засыпок [9]. Технический результат: повышение прочности при раскалывании огнеупорного пористого заполнителя.

– композиция для изготовления жаростойких поризованных композитов [10]. Технический результат – повышение прочности при сжатии и морозостойкости жаростойких поризованных композитов.

К химическим связующим, применяемым в жаростойких бетонах, относятся жидкое стекло, силикат-глыба (прозрачный стекловидный сплав щелочных силикатов – полуфабрикат жидкого стекла) и фосфатные связки. Композиция для изготовления жаростойких поризованных композитов [10], включающая ортофосфорную кислоту и отработанный катализатор ИМ-2201, дополнительно содержит сланцевый кокс. При этом преимущество используемого в технологии катализатора ИМ-2201 основано на применении техногенного сырья при получении жаростойкого поризованного композита (бетона), что способствует утилизации промышленных отходов, охране окружающей среды, расширению сырьевой базы для строительных материалов.

На кафедре технологии нефти и газа были изучены образцы отработанных цеолитсодержащих катализаторов, образовавшиеся в процессе облагораживания углеводородного сырья и представляющие собой цилиндрические гранулы размером 3–4 мм с насыпной плотностью 0,755 г/см³. Нами изучены некоторые его физико-химические свойства: водопоглощаемость, растворимость загрязнений и вымываемость их в водную среду, рН среды (табл. 1). Водопоглощаемость отработанного катализатора составляет 27 %, а водородный показатель водной вытяжки – рН 7,0, что соответствует допустимому уровню рН среды от 6,5 до 8,5.

Таблица 1 – Характеристика отработанного катализатора

Источник образования	Внешний вид	Физико-химическая характеристика отхода			Коксовые отложения, %	рН водной вытяжки
		Агрегатное состояние	Водопоглощаемость, %	Насыпная плотность, г/см ³		
Установка облагораживания углеводородного сырья	Темно-серые гранулы $l_{cp} = 3,5$ мм	твёрдый	27,17	0,755	9,29	7,0

С целью обезвреживания и утилизации твердых нефтегазовой отрасли ранее были изучены направления их использования в качестве добавок в строительные материалы [11–13] и обосновано применение отработанного силикагеля в качестве отощающей добавки в производстве керамических кирпичей [14]. Целесообразность вовлечения кремнеземсодержащих отходов для создания керамических изделий показана в патентных разработках, в частности, пыль кремнезема, отходы добычи цеолитов применяются для повышения прочности, снижения средней плотности изделий и расширения минерально-сырьевой базы для производства керамического кирпича [15–17]. Учитывая, что в состав цеолитсодержащих катализаторов входят три основные составляющие: активный компонент (цеолит), матрица (оксид алюминия) и вспомогательные добавки (ионы некоторых металлов, например, Fe^{3+} и Mn^{2+}), а также то, что силикатный модуль (Si/Al) цеолитсодержащих катализаторов варьируется от 35 до 90, предложено перспективное направление использования отработанных катализаторов в качестве кремнеземсодержащей и отощающей добавки, уменьшающей усадочные деформации в изделиях, улучшающей сушильные свойства керамических смесей и увеличивающей прочность готовой продукции. При этом обезвреживание добавок будет происходить за счет выгорания техногенных отложений в процессе обжига кирпича при температуре 1050 °С, а в результате будут получены экологически безопасные продукты.

Таким образом, отходами нефтегазового и нефтехимического производства являются не только нефтесодержащие отходы, но и отработанные катализаторы. За счет увеличения количества вторичной переработки нефти, в которой активно включаются каталитические процессы, повышается расход самих катализаторов и как следствие идет увеличение дезактивированных отходов. Их утилизация на сегодняшний день остается важной задачей, так как многие катализаторы содержат ценные металлы, а также относятся к классам малоопасных и умеренно опасных отходов. При этом носители за счет своего состава могут быть использованы в качестве глинозема и/или кремнезема в качестве техногенного сырья. Применение вторичного сырья осложняется его сложным составом, однако рассмотренные в статье технологии предполагают их вовлечение в производство строительных материалов. Это значительно удешевляет их изготовление при сохранении необходимых характеристик качества.

Список литературы

1. Шишова Н.В. Перспективы внедрения НДТ в катализаторную промышленность / Н.В. Шишова, Т.А. Литвинова // Актуальные проблемы науки и техники. Материалы IX Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Уфа, 2016 г. – Т. 1. – С. 186–188.
2. Перспективные направления ликвидации загрязнения окружающей среды нефтесодержащими отходами на объектах нефтедобычи / Т.П. Косулина [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 11. – С. 149–152.
3. Litvinova T.A. Organo-mineral additives based on oil and gas complex waste to building materials // Magazine of Civil Engineering. – 2016. – № 7(67). – P. 13–21.
4. Вычегжанина Е.В. Комплексный подход к получению органоминеральных добавок при обезвреживании отходов нефтегазовой отрасли / Е.В. Вычегжанина, В.А. Шершнева, Т.А. Литвинова // Актуальные проблемы науки и техники. Материалы XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Уфа, 2021. – Т. 2. – С. 120–122.
5. Абдрахимова Е.С. Использование отходов углеобогащения и межсланцевой глины в производстве керамического кирпича. – 2021. – № 7(1144). – С. 52–55.
6. Абызов В.А. Жаростойкие ячеистые бетоны и вяжущие на основе шлаков алюминотермического производства / В.А. Абызов, С.Н. Черногорлов, Д.А. Речкалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16. – № 2. – С. 38–47.
7. Композиция для изготовления жаростойких бетонов: пат. KZ №31461 Казахстан № 2014/1801.1, заявл. 04.12.2014; опубл. 31.08.2016.
8. Композиция для изготовления жаростойких композитов: пат. 2626488 Рос. Федерация № 2016121754, заявл. 01.06.2016; опубл. 28.07.2017.
9. Способ получения огнеупорного пористого заполнителя: пат. 2470885 Рос. Федерация № 2011119391/03; заявл. 13.05.2011; опубл. 27.12.2012.
10. Композиция для изготовления жаростойких поризованных композитов: пат. 2714175 Рос. Федерация; № 2019103113, заявл. 04.02.2019; опубл. 12.02.2020.
11. Линия по производству гипсоцементно-пуццоланового вяжущего: пат. 74102 Рос. Федерация; № 2008107463/22, заявл. 26.02.2008, опубл. 20.06.2008.
12. Косулина Т.П. Использование отработанного силикагеля при производстве бетонов / Т.П. Косулина, Т.А. Литвинова, В.Ф. Черных // Экология и промышленность России. – 2010. – № 2. – С. 30–32.
13. Гребенкина А.В. Использование отработанных силикагелей в качестве вторичного материального ресурса в различных отраслях промышленности / А.В. Гребенкина, Т.А. Литвинова, Т.П. Косулина // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяй-

ственного производства: сборник научных трудов по материалам V Международной научной экологической конференции, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ. – 2017. – С. 708–712.

14. Шевцова Е.С. Применение добавок на основе кремнеземсодержащих отходов нефтегазовой отрасли при производстве керамических материалов / Е.С. Шевцова, Т.А. Литвинова // Инновационные технологии по обезвреживанию и утилизации отходов нефтегазовой отрасли: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 153–156.

15. Сырьевая смесь и способ изготовления керамических изделий: пат. 2374206 Рос. Федерация № 2008146325/03; заявл. 25.11.2008; опубл. 27.11.2009.

16. Керамическая масса для производства кирпича, черепицы: пат. 2374205 Рос. Федерация № 2008133694/03; заявл. 15.08.2008; опубл. 27.11.2009.

17. Керамическая масса для изготовления кирпича: пат. 2308434 Рос. Федерация № 2006103426/03; заявл. 06.02.2006; опубл. 20.10.2007.

List of references

1. Shishova N.V. Prospects for the introduction of NDT in the catalyst industry / N.V. Shishova, T.A. Litvinova // Actual problems of science and technology. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. – Ufa, November 16–18, 2016. – Vol. 1. – P. 186–188.

2. Perspective directions of elimination of environmental pollution by oil-containing wastes at oil production facilities / T.P. Kosulina [et al.] // Oil industry. – 2017. – № 11. – P. 149–152.

3. Litvinova T.A. Organo-mineral additives based on oil and gas complex waste to building materials // Magazine of Civil Engineering. – 2016. – № 7(67). – P. 13–21.

4. Vychezhnanina E.V. An integrated approach to obtaining organo-mineral additives in the neutralization of waste from oil and gas industry / E.V. Vychezhnanina, V.A. Shershneva, T.A. Litvinova // Actual problems of science and technology. Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference of young scientists. – Ufa, 2021. – Vol. 2. – P. 120–122.

5. Abdrakhimova E.S. The use of coal enrichment waste and inter-slate clay in the production of ceramic bricks. – 2021. – № 7(1144). – P. 52–55.

6. Abyzov V.A. Heat-resistant cellular concretes and binders based on slags of aluminothermic production / V.A. Abyzov, S.N. Chernogorlov, D.A. Rechkalov // Bulletin of SUSU. The series «Construction and Architecture». – 2016. – Vol. 16. – № 2. – P. 38–47.

7. Composition for the manufacture of heat-resistant concrete: patent 31461 Kazakhstan № 2014/1801.1, application 04.12.2014; publ. 31.08.2016.

8. Composition for the manufacture of heat-resistant composites: patent 2626488 Russian Federation № 2016121754, application 01.06.2016; publ. 28.07.2017.

9. Method of obtaining refractory porous filler: pat. 2470885 Russian Federation No. 2011119391/03; application 13.05.2011; publ. 27.12.2012.

10. Composition for the manufacture of heat-resistant porous composites: patent 2714175 Russian Federation No. 2019103113, application 04.02.2019; publ. 12.02.2020.

11. Gypsum cement-pozzolan binder production line: patent 74102 Russian Federation № 2008107463/22 , application 26.02.2008, publ. 20.06.2008.

12. Kosulina T.P. The use of spent silica gel in the production of concrete / T.P. Kosulina, T.A. Litvinova, V.F. Chernykh // Ecology and industry of Russia. – 2010. – № 2. – P. 30–32.

13. Grebenkina A.V. The use of spent silicagels as a secondary material resource in various industries / A.V. Grebenkina, T.A. Litvinova, T.P. Kosulina // Problems of recultivation of household waste, industrial and agricultural production. Collection of scientific papers based on the materials of the V International Scientific Ecological Conference dedicated to the 95th anniversary of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – P. 708–712.

14. Shevtsova E.S. The use of additives base on silica-containing waste from the oil and gas industry in the production of ceramic materials / E.S. Shevtsova, T.A. Litvinova // Innovative technologies for the neutralization and disposal of waste from the oil and gas industry: an electronic collection of scientific articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference. – 2016. – P. 153–156.

15. Raw material mixture and method of manufacture of ceramic products: patent 2374206 Russian Federation № 2008146325/03; application 25.11.2008; publ. 27.11.2009.

16. Ceramicmass for the production of bricks, tiles: patent 2374205 Russian Federation № 2008133694/03; application 15.08.2008; publ. 27.11.2009.

17. Ceramic mass for the manufacture of bricks: patent 2308434 Russian Federation No.2006103426/03; application 06.02.2006; publ. 20.10.2007.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОИСКА
НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В НАДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
ТРИАСОВОГО КОМПЛЕКСА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ (НА ПРИМЕРЕ
ЮРТОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

**METHODOICAL TECHNIQUES OF SEARCHING FOR OIL
DEPOSITS IN THE ABOVE-SALT DEPOSITS
OF THE TRIASSIC COMPLEX OF THE SOUTHWESTERN
PART OF THE CASPIAN DEPRESSION
(ON THE EXAMPLE OF THE YURTOVSKY FIELD)**

Григорьев Михаил Александрович

доцент кафедры нефтегазового дела,
Кубанский государственный технологический университет
geosarmat@mail.ru

Абгарян Артуш Усикович

студент кафедры нефтегазового дела,
Кубанский государственный технологический университет
artushw@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается открытие нового нефтяного месторождения в триасовых отложениях Юртовской структуры в юго-западной части Прикаспийской впадины. Особенностью месторождения является отсутствие четких сейсмических отражений на целевом триасовом комплексе. Триасовые отложения является новым направлением геологоразведочных работ в этом регионе. Приведены структурные особенности Юртовской складки, а также данные гидродинамических исследований. Отсутствие четких сейсмических отражений в центральной части складки объясняется вертикальными движениями, приведшими к развитию зоны дробления в подошвенной части нижнетриасового комплекса. Комплексирование 3D-сейсморазведки с приповерхностной геохимической съемкой может помочь в локализации месторождения. Нижние части триасовых отложений, прилегающие к сводам соляных куполов, могут рассматриваться в качестве нового направления поисковых работ в регионе.

Ключевые слова: Прикаспийская впадина, надсолевые отложения, нефтяное месторождение.

Mikhail Grigoriev

Associate Professor of the Department of Oil and Gas Affairs,
Kuban State University of Technology
geosarmat@mail.ru

Abgaryan Artush Usikovich

Student of the Department of Oil and Gas Affairs,
Kuban State University of Technology
artushw@mail.ru

Annotation. The article discusses the discovery of a new oil field in the Triassic deposits of the Yurt structure in the southwestern part of the Caspian depression. A feature of the deposit is the absence of clear seismic reflections on the target Triassic complex. Triassic deposits are a new area of exploration in this region. The structural features of the Yurt fold are presented, as well as the data of hydrodynamic studies. The absence of clear seismic reflections in the central part of the fold is explained by vertical movements that led to the development of a crushing zone in the sole part of the Lower Triassic complex. Combining 3D seismic with near-surface geochemical surveys can help localize a deposit. The lower parts of the Triassic deposits, adjacent to the arches of the salt domes, can be considered as a new direction of prospecting in the region.

Keywords: Pricaspian depression, over saline deposits, oil deposit.

В юго-западной части Прикаспийской впадины в отложениях нижнего триаса на глубине порядка 1000 м впервые открыто нефтяное месторождение, приуроченное к сводовой части кунгурского соляного купола. Характерной особенностью является отсутствие четких сейсмических отражений в центральной части складки по триасовым отложениям. Триасовые отложения в присводовых частях соляных куполов являются новым направлением поисковых работ в юго-западной части Прикаспийской впадины.

Фрагмент меридионального сейсмогеологического профиля Прикаспийской впадины представлен на рисунке 1.

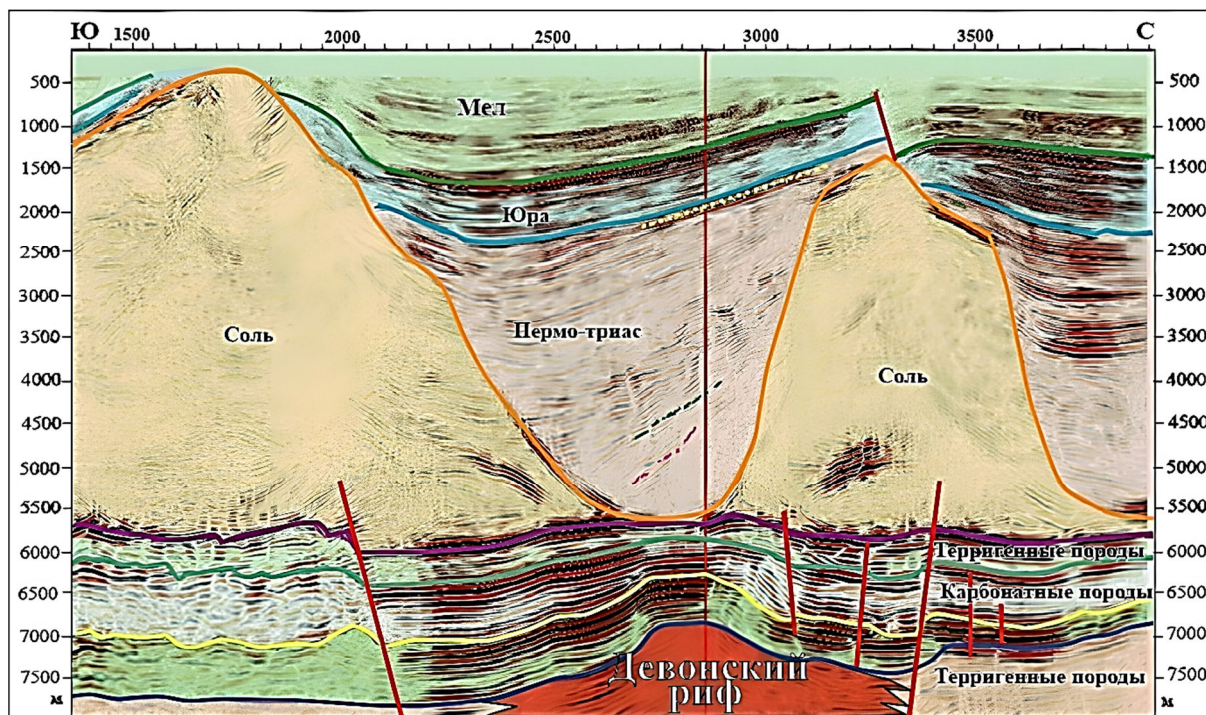
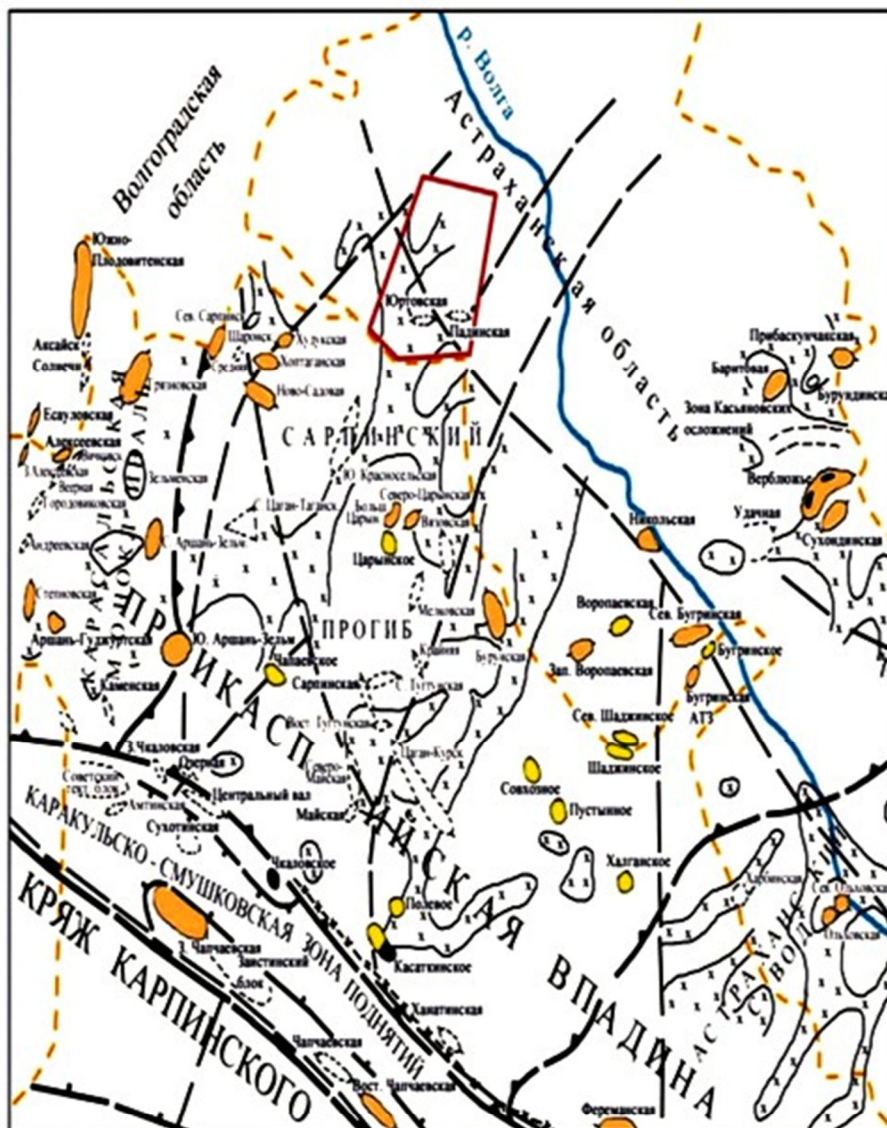


Рисунок 1 – Фрагмент меридионального сейсмогеологического профиля Прикаспийской впадины (данные из открытых источников)

Впервые в триасовых отложениях в юго-западной части Прикаспийской впадины было открыто новое нефтяное месторождение. Его главной особенностью является отсутствие четких сейсмических отражений на целевом триасовом слое. Триасовые отложения – это новое направление в разведке нефти в юго-западной части Прикаспийской впадины.

Юртовская структура расположена в юго-западной части Прикаспийской впадины (рис. 2). В разрезе осадочной толщи Прикаспийской впадины выделяются три структурных этажа: *подсолевой*, включающий комплекс карбонатно-терригенных отложений палеозойского возраста, *сульфатно-карбонатно-галоидная толща* отложений кунгурского яруса нижней перми и *надсолевой структурный этаж*, охватывающий комплекс отложений от нижнетриасовых до четвертичных включительно.

Тектоника надсолевого комплекса пород обусловлена структурным планом кровли соленосной толщи и, в целом, повторяет его, с закономерным выполаживанием вверх по разрезу всех структурных элементов. Триасовый структурный ярус отличается от юрско-четвертичного большей степенью дислоцированности.



условные обозначения:
границы тектонических элементов:

- | | | | | | |
|---|---|---|------------------------|---|----------------------------------|
|  | - контур Южно-Вязовского лицензионного участка; |  | - I порядка; |  | - соляные массивы; |
|  | - административная граница; |  | - II порядка; |  | - известные выявленные поднятия; |
|  | - тектонические нарушения; |  | - III порядка; |  | - месторождения газа; |
|  | - граница развития соляной тектоники; |  | - локальные структуры; |  | - месторождения нефти. |

Рисунок 2 – Тектоническая схема
Юго-Западной части Прикаспийской впадины

Юртовская складка представляет собой узкую, субширотно ориентированную антиклиналь, ограниченную со всех сторон экранирующими разрывными нарушениями. Сводовая часть структуры разбита субмеридиональными разломами амплитудой до 20 м, разделяя структуру на западный, центральный и восточный блоки.

Амплитуда северного субширотного разрывного нарушения составляет от 10 до 50 м, южного – от нескольких метров до 100 м. Относительно северного обрамления западный блок в своей западной части погружён на глубину до 50 м, сводовая область структуры и восточный блок взброшены незначительно – до 10 м. Относительно южного обрамления складка взброшена с максимальной амплитудой смещения при сочленении со сводовой частью структуры – до 100 м. Высота западного блока – около 460 м, центрального – около 70 м, восточного – около 170 м. В отложениях индского яруса нижнего триаса строение структуры аналогично (рис. 3).

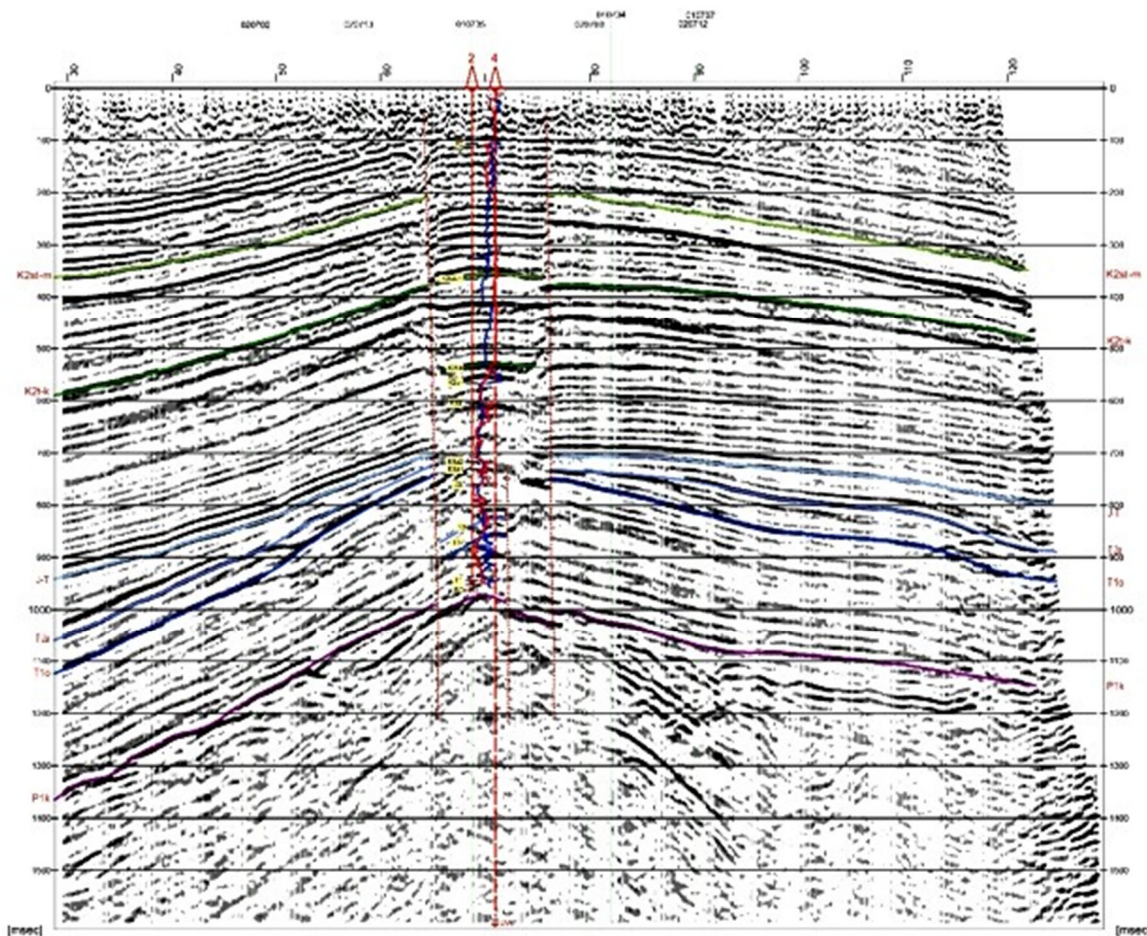


Рисунок 2 – Фрагмент субмеридионального сейсмического профиля через Юртовское месторождение

В скважине № 2 в октябре 2008 года из отложений индского яруса нижнего триаса на штуцере диаметром 6 мм получен приток нефти плотностью $0,85 \text{ г/см}^3$ с содержанием растворённого газа $0,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Дебит нефти на 4 мм штуцере составил 27,9 и 22,9 $\text{м}^3/\text{сут}$ на прямом и обратном ходах соответственно; на 6 мм штуцере – 41,1 $\text{м}^3/\text{сут}$. В скважине проведены два цикла гидродинамических

испытаний. Сопоставление первоначальных и повторных гидродинамических исследований, проведённых через три месяца, показывает увеличение дебитов нефти на одних и тех же штуцерах при практически неизменных забойных давлениях на одинаковых режимах. Заслуживает внимания тот факт, что подобный рост происходит в условиях непрерывного отбора нефти.

Характерной особенностью, отличающей Юртовскую антиклиналь от соседних одновозрастных структур аналогичного генезиса, является отсутствие четких сейсмических отражений в центральной части складки по триасовым отложениям.

Очевидно, что свод структуры многократно испытывал разнонаправленные вертикальные движения, приведшие к развитию зоны дробления в подошвенной части нижнетриасового комплекса и обусловившие хаотичность и пестроту сейсмической записи.

По-видимому, подобная полициклическая геодинамическая активность играет существенную роль в процессах формирования нефтяной залежи. Таким образом, наличие зоны дробления в сводовых частях надсолевых структур является благоприятным поисковым признаком, который следует использовать при проведении поисково-оценочных работ в надсолевом комплексе юго-западной части Прикаспийской впадины, а также при определении приоритета ввода выявленных структур в поисково-оценочное бурение.

Для продолжения поисково-разведочных работ на месторождении представляется целесообразным комплексирование 3D сейсморазведки с приповерхностной геохимической съемкой. Геохимическая съемка должна проводиться по регулярной сети с пространственно координированными точками отбора газовой смеси до и после проведения сейсморазведки. Увеличение концентраций метана и радона при повторной съемке должно трассировать проекции зон проводящих разрывных нарушений, а, возможно, предварительно (до бурения) локализовать положение нефтяной залежи.

Необходимо подчеркнуть, что нефтяная залежь, приуроченная к подошвенной части надсолевого комплекса, непосредственно прилегающего к своду кунгурского соляного купола, залегающая на небольших (около 1000 м) глубинах, в пределах рассматриваемого региона открыта впервые. Это позволяет рассматривать нижние части триасовых отложений, прилегающие к сводам соляных куполов в качестве нового направления поисковых работ в юго-западной части Прикаспийской впадины.

Список литературы

1. Белоусов О.Н. Перспективы нефтеносности триасового комплекса юго-западной части Прикаспийской впадины (на примере Юртовского месторождения) / О.Н. Белоусов, М.А. Григорьев, А.В. Панкова // Геология, география и глобальная энергия. – Астрахань : Астраханский университет, 2010. – № 2(38).
2. Зорькин Л.М. Гидрогеохимические показатели нефтегазоносности Прикаспийской впадины. Недра / Л.М. Зорькин, В.Г. Козлов, Е.В. Стадник. – М., 1975. – 112 с.
3. Методологические основы поисков месторождений нефти и газа (на примере нефтегазодобывающих районов Прикаспийской впадины и её бортовой зоны) / И.Х. Абрикосов [и др.] // Тематический научно-технический обзор. – М. : ВНИИОЭНГ, 1972. – С. 115.
4. Васильев Ю.М. Геологическое строение Прикаспийской впадины и закономерности распространения нефти и газа в её недрах. – М. : Недра, 1967. – С. 282.
5. URL : https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.54f688e5-645cf96f-9b133e11-74722d776562/https/web.archive.org/web/20060408075201/http://www.caspianenvironment.org/newsite/Caspian-Background.htm
6. URL : <https://bigenc.ru/c/prikaspiiskaia-sinekliza-f4376d>
7. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/model-glubinnogo-stroeniya-prikaspiyskoy-vpadiny-po-dannym-regionalnyh-seismicheskikh-nablyudeniy-mogt-gsz-i-mestorozhdeniya/viewer>
8. URL : <https://www.ngpedia.ru/id594692p1.html>

List of references

1. Belousov O.N. Prospects for the oil content of the Triassic complex of the southwestern part of the Caspian depression (on the example of the Yurtovskoye field) / O.N. Belousov, M.A. Grigoriev, A.V. Pankova // Geology, geography and global energy. – Astrakhan : Astrakhan University, 2010. – № 2(38).
2. Zorkin L.M. Hydrogeochemical indicators of the oil and gas potential of the Caspian depression. Nedra / L.M. Zorkin, V.G. Kozlov, E.V. Stadnik. – M., 1975. – 112 p.
3. Methodological foundations of prospecting for oil and gas fields (on the example of oil and gas producing regions of the Caspian depression and its onboard zone) / I.Kh. Abrikosov [et al.] // Thematic scientific and technical review. – M. : VNIIOENG, 1972. – P. 115.
4. Vasiliev Yu.M. The geological structure of the Caspian depression and the patterns of distribution of oil and gas in its depths. – M. : Nedra, 1967. – P. 282.
5. URL : https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.54f688e5-645cf96f-9b133e11-74722d776562/https/web.archive.org/web/20060408075201/http://www.caspianenvironment.org/newsite/Caspian-Background.htm
6. URL : <https://bigenc.ru/c/prikaspiiskaia-sinekliza-f4376d>
7. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/model-glubinnogo-stroeniya-prikaspiyskoy-vpadiny-po-dannym-regionalnyh-seismicheskikh-nablyudeniy-mogt-gsz-i-mestorozhdeniya/viewer>
8. URL : <https://www.ngpedia.ru/id594692p1.html>

**К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ
СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА ПРИ РАЗРАБОТКЕ
ЗАЛЕЖЕЙ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ
ТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

**ON THE QUESTION OF THE NEED TO CREATE
A SYSTEM OF HYDROGEOECOLOGICAL MONITORING
DURING THE DEVELOPMENT OF HIGHLY VISCOUS OIL
DEPOSITS USING THERMAL METHODS**

Григорьев Михаил Александрович

доцент кафедры нефтегазового дела,
Кубанский государственный технологический университет
geosarmat@mail.ru

Абгарян Артуш Усикович

студент кафедры нефтегазового дела,
Кубанский государственный технологический университет
artushw@mail.ru

Аннотация. Нефть является важным источником энергии и сырьём, используемым в различных областях человеческой деятельности, и её добыча продолжает увеличиваться. Однако, из-за сокращения запасов легких нефтей, становится необходимым развитие добычи тяжёлых углеводородов. Одной из технологий добычи таких ресурсов являются методы термического воздействия на пласты, которые были впервые осуществлены в России в середине 60-х годов. Несмотря на значительные запасы тяжёлых нефтей в России, в настоящее время интерес к тепловым методам добычи нефти сократился из-за высокой капиталоемкости. Однако, в будущем такой интерес может возродиться, поэтому важно изучить геоэкологические последствия термических методов добычи нефти с целью минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Углеводороды находятся в квазистатическом состоянии в ловушках, и воздействие на них может нарушить равновесие флюидной системы в пласте. Кроме того, статья рассматривает необходимость создания системы мониторинга экологической обстановки на месторождениях и прилегающих

территориях. Показано, что при использовании термических методов происходит активный контакт залежей с дневной поверхностью, что может привести к загрязнению окружающей среды. Для контроля за продвижением рабочих агентов и загрязнением водных ресурсов необходимо проводить регулярный мониторинг и отбор проб воды из добывающих и законтурных скважин, а также поверхностных водоемов. Важно учитывать, что распространение рабочих агентов может иметь языковой характер, ориентированный вдоль разрывных нарушений, поэтому необходимо создание наблюдательной сети скважин на приповерхностный водоносный комплекс для оценки степени насыщения тяжелыми углеводородами верхних водоносных горизонтов.

Ключевые слова: гидрогеоэкологический мониторинг, термические методы, высоковязкая нефть.

Grigoriev Mikhail Alexandrovich

Associate Professor of the Department of Oil and Gas Business,
Kuban State University of Technology
geosarmat@mail.ru

Abgaryan Artush Usikovich

Student of the Department of Oil and Gas Business,
Kuban State University of Technology
artushw@mail.ru

Annotation. Oil is an important energy source and raw material used in various fields of human activity, and its production continues to increase. However, due to the reduction of light oil reserves, it becomes necessary to develop the production of heavy hydrocarbons. One of the technologies for the extraction of such resources is the methods of thermal stimulation of reservoirs, which were first implemented in Russia in the mid-60s. Despite the significant reserves of heavy oils in Russia, at present, interest in thermal methods of oil production has declined due to high capital intensity. However, in the future such interest may be revived, so it is important to study the geocological consequences of thermal methods of oil extraction in order to minimize the negative impact on the environment. Hydrocarbons are in a quasi-static state in traps, and exposure to them can upset the equilibrium of the fluid system in the reservoir. In addition, the article considers the need to create a system for monitoring the environmental situation in the fields and adjacent areas. It is shown that when ther-

mal methods are used, deposits are in active contact with the surface, which can lead to environmental pollution. To control the movement of working agents and pollution of water resources, it is necessary to conduct regular monitoring and sampling of water from production and outflow wells, as well as surface water bodies. It is important to take into account that the spread of working agents may have a linguistic character, oriented along faults, therefore, it is necessary to create an observational network of wells in the near-surface aquifer to assess the degree of saturation of the upper aquifers with heavy hydrocarbons.

Keywords: Hydrogeoecological monitoring, thermal methods, highly viscous oil.

Нефть до настоящего времени является чрезвычайно востребованным полезным ископаемым с широчайшим спектром применения в различных областях человеческой деятельности – от использования в качестве энергоносителя до нефтехимии и медицины. Несмотря на активные попытки найти ей альтернативу, существенного сокращения доли нефти в мировом энергобалансе в ближайшей перспективе не просматривается. Поэтому извлечение нефтяных запасов из земных недр осуществляется колоссальными темпами, а снижение объемов ее добычи ограничивается почти исключительно политико-экономическими причинами. Принимая во внимание, что запасы легких нефтей интенсивно сокращаются, появляется необходимость в добыче тяжелых углеводородов, а именно высоковязких нефтей и природных битумов. Освоение тяжелых углеводородных ресурсов на сегодняшний день несомненно является приоритетной задачей для Российской Федерации, отвечающей высоким темпам ее социально-экономического развития.

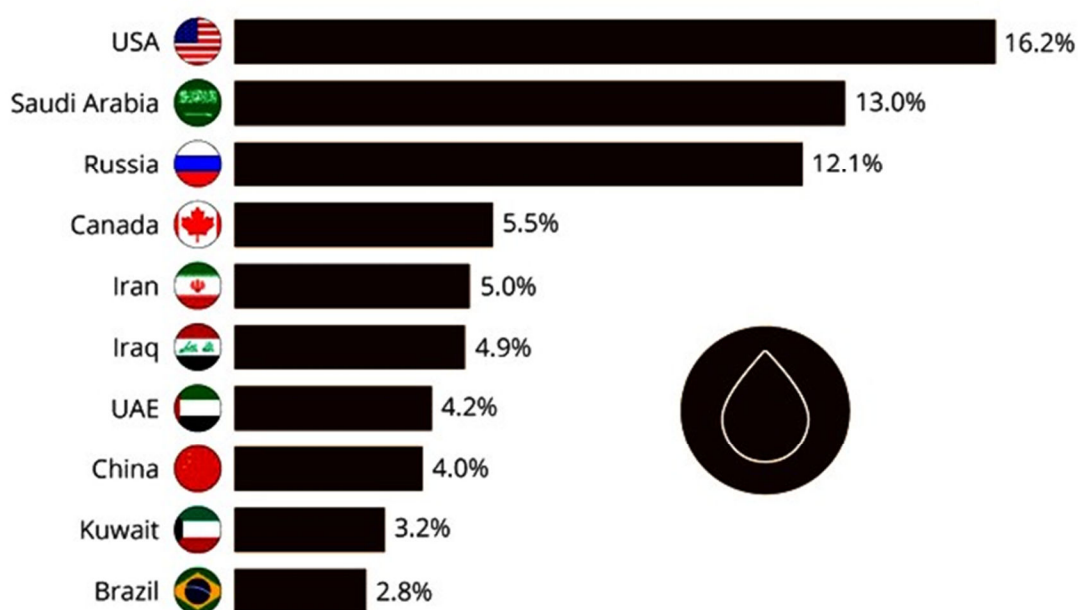
Диаграмма ниже представляет главнейших экспортеров нефти мира на 2018 год.

На территории Российской Федерации технологии термического воздействия на пласты, содержащие высоковязкие нефти (ВВН), впервые были осуществлены в середине 60-х годов на территории Краснодарского края. Вплоть до начала 90-х годов опытно-промышленные работы по паротепловому воздействию, пароциклическим обработкам пласта и внутрипластовому горению устойчиво развивались на месторождениях Краснодарского края

(Зыбза-Глубокий Яр, Павлова Гора), Западной Сибири (Русское, Северо-Комсомольское и др.), Республики Коми (Усинское), Удмуртии (Гремихинское), Казахстана (Кенкияк, Каражанбас), Сахалина (Оха, Катангли). Затем, после распада СССР и стремительного падения мировых цен на нефть, масштабы научно-практических разработок в данной области резко сократились, что обусловлено высокой капиталоемкостью термических методов, требующих закупки теплоэнергетической техники, бурения дополнительных скважин, реконструкции систем сбора и подготовки нефти.

The World's Biggest Oil Producers

Share of global oil production in 2018



Includes crude oil, shale oil, oil sands, condensates and natural gas liquids.
 ©StatistaCharts Source: BP

statista

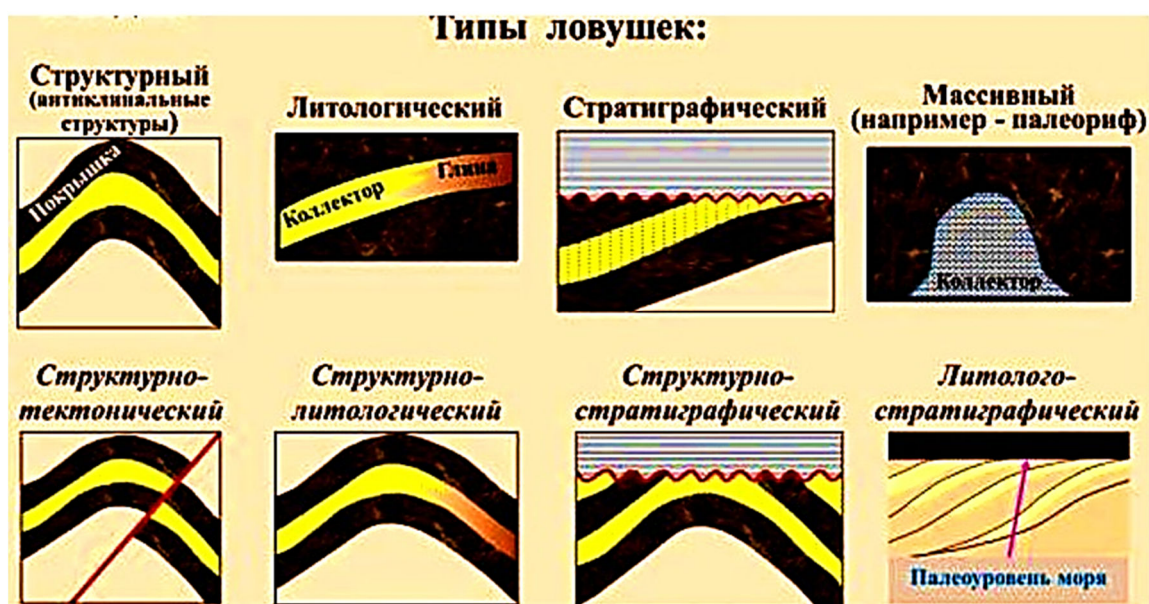
Рисунок 1 – Доля стран в производстве нефтяных ресурсов

В настоящее время нефть и газ можно с полным правом назвать «углеводородным оружием». С учетом того, что Россия обладает значительными запасами тяжелых нефтей (9,0 млрд т) [1], можно прогнозировать возрождение практического интереса к тепловым методам добычи нефти.

В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть геоэкологическую составляющую применения методов термического воздействия на пласт, выявить источники, объекты и масштабы техногенного воздействия на окружающую среду с целью его своевременной диагностики и минимизации возможных негативных последствий.

Следует напомнить, что в природных, то есть не нарушенных техногенными процессами условиях, углеводороды (УВ), в том числе и ВВН, находятся в квазистатическом состоянии, обеспечивающем их накопление и консервацию. Сама же ловушка представляет своего рода геологическую аномалию, выраженную перегибом пласта (антиклинальная ловушка), его выклиниванием (литологическая ловушка), стратиграфическим срезанием с перекрытием непроницаемыми породами (стратиграфическая ловушка), изолированную разрывным нарушением (тектонически экранированная ловушка), либо комбинацией вышеперечисленных факторов (сложнопостроенная комбинированная ловушка). В любом случае залежь УВ является частью флюидной системы, находящейся в динамическом равновесии. Воздействие на эту часть системы выводит ее из равновесного состояния, что, в свою очередь, приводит к некоторым изменениям системы в целом.

На изображении ниже отображены виды ловушек и их комбинации.



Типы ловушек нефти и газа

В тех случаях, когда разработка ведется без применения методов поддержания пластового давления (ППД), в пределах контура образуется депрессионная воронка и происходит как бы «самолокализация» залежи, что делает процесс добычи экологически безопасным. Если же происходит внедрение, закачка в пласт рабочих агентов, что имеет место при заводнении и термических методах, то тем самым инициируется квазистатичная в природных условиях флюидная система [2].

В середине 80-х годов в институте ВНИПИтермнефть был разработан метод гидрохимического контроля за продвижением теплоносителя в пределах контура залежей ВВН, успешно апробированный в Краснодарском крае, Удмуртии и Казахстане. Проведенные исследования показали, что распространение паротепловой оторочки происходит не радиально, а имеет языковый характер, ориентированный вдоль разрывных нарушений, как наиболее проницаемых зон. Данный метод применялся только в пределах залежей, поэтому судить о том, насколько далеко распространяется граница зоны влияния закачки рабочего агента, несущая в себе в том числе и весь спектр углеводородного загрязнения, не представляется возможным.

Можно полагать, что зона влияния термических методов должна распространяться активнее и дальше, чем при обычном заводнении, т.к., во-первых, пар и горячая вода более подвижны по сравнению с холодной, а, во-вторых, вызывают резкое увеличение подвижности нефти, для чего, собственно, и применяются. К этому следует добавить, что само происхождение тяжелых высоковязких нефтей связано с гипергенными изменениями, которые происходят в зоне активного контакта с дневной поверхностью и приводят к улетучиванию легких фракций. Этот контакт происходит по многочисленным проводящим разрывным нарушениям, обеспечивающим проникновение атмосферного воздуха и обогащенных кислородом поверхностных вод. Очевидно, что активный контакт залежей ВВН с дневной поверхностью в обязательном порядке необходимо учитывать при проектировании их разработки с применением термического воздействия.

Все вышеизложенное предполагает создание комплексной, постоянно действующей системы мониторинга, которая должна отслеживать динамику экологической обстановки как на месторождениях ВВН, разрабатываемых с применением термических методов, так и на прилегающих территориях.

Чтобы избежать негативных последствий необходимо проводить мониторинг по следующим направлениям:

1. Контроль за продвижением паротепловой оторочки в пределах залежи ВВН, для чего необходим регулярный отбор проб воды из добывающих скважин с определением содержания хлор-иона. Индикатором продвижения зоны влияния является опреснение подтоварных вод, т.к. в пласт закачивается пресный рабочий агент.

2. Отбор проб воды из законтурных скважин, экспресс-анализ их минерализации и содержания тяжелых углеводородов (ТУ), с целью определения границ распространения зоны влияния термических методов за пределами залежи.

3. Оценка степени насыщения ТУ верхних региональных водоносных горизонтов, для чего необходимо создание сети наблюдательных скважин на приповерхностный водоносный комплекс.

4. Отбор проб воды из поверхностных водоемов и их анализ на содержание ТУ.

Список литературы

1. Тепловые методы разработки нефтяных месторождений / Н.К. Байбаков, А.Р. Гарушев. – 2-е изд., перераб, и доп. – М. : Недра, 1981. – 286 с.

2. Антониади Д.Г. Увеличение нефтеотдачи пластов газовыми и парогазовыми методами. – М. : Недра, 1998. – 304 с.

3. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-monitoring-neftegazovyh-zagryazneniy>

4. URL : <https://scienceforum.ru/2020/article/2018017895>

5. URL : <https://studizba.com/lectures/gorno-geologicheskaya-otrasl/lekcii-po-ekologii-neftegazodobyvayuschih-kompleksov/2598-monitoring-neftyanogo-zagryazneniya.html>

List of references

1. Thermal methods for the development of oil fields / N.K. Baibakov, A.R. Garushev. – 2nd ed., revised, and additional. – M. : Nedra, 1981. – 286 p.

2. Antoniadis D.G. Increased oil recovery of reservoirs by gas and steam-gas methods. – M. : Nedra, 1998. – 304 p.

3. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-monitoring-neftegazovyh-zagryazneniy>

4. URL : <https://scienceforum.ru/2020/article/2018017895>

5. URL : <https://studizba.com/lectures/gorno-geologicheskaya-otrasl/lekcii-po-ekologii-neftegazodobyvayuschih-kompleksov/2598-monitoring-neftyanogo-zagryazneniya.html>

**СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ
ГАЗОНЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ВВН**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS
OF VARIOUS TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT
OF GAS AND OIL FIELD WITH HIGH-VISCOSITY OIL**

Джалалов Константин Эдуардович

кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Институт нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
kdzhalalov@mail.ru

Амер Мустафа

аспирант кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
mostafa.amer2023@outlook.com

Аль-Идриси Мохаммед Салех

аспирант кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
mohammed734488@mail.ru

Левченко Маргарита Романовна

магистр кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики
Кубанский государственный технологический университет
rita.levchenko.1998@mail.ru

Аннотация. В связи с переходом многих месторождений на позднюю стадию разработки, доля трудноизвлекаемых запасов нефти в России неуклонно возрастает, и по некоторым оценкам

составляет уже около 2/3 общего объема геологических запасов. Из этой категории основной частью занимаются запасы газонефтяных месторождений с высоковязкой нефтью (ВВН). Суммарные запасы по этим месторождениям составляют более 2 млрд т. Эти запасы не могут эффективно вырабатываться при естественном режиме и ППД. Поэтому в данной статье рассматривается эффективность применения в этих условия различных МУН.

Ключевые слова: добыча высоковязкой нефти, методы увеличения нефтеотдачи, термогазовое воздействие, паротепловое воздействие.

Dzhalalov Konstantin Eduardovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Oil and Gas named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
kdzhalalov@mail.ru

Amer Mustafa

Postgraduate Student of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State University of Technology
mostafa.amer2023@outlook.com

Al-Idrisi Mohammed Saleh

Postgraduate Student of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State University of Technology
mohammed734488@mail.ru

Levchenko Margarita Romanovna

Master of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
rita.levchenko.1998@mail.ru

Annotation. Due to the transition of many fields to the late stage of development, the share of hard-to-recover oil reserves in Russia is steadily increasing, and according to some estimates it is already about 2/3 of the total volume of in-place reserves. Of this category, the main part is oc-

cupied by reserves of gas-oil fields with high-viscosity oil (HVO). The total reserves for these fields are more than 2 billion tons. These reserves cannot be efficiently generated under natural conditions and maintain formation pressure. Therefore, this article discusses the effectiveness of the use of various EORs in these conditions.

Keywords: extraction of high-viscosity oil, methods of increasing oil recovery, thermogasic effect, steam-thermal effect.

Введение

По мере опережающей выработки запасов легкой вовлечение в более активную разработку огромных ресурсов высоковязкой нефти водоплавающей газонефтяных залежей приобретает особое внимание. В России имеется ряд газонефтяных месторождений с подстилающей водой, насыщенных высоковязкой нефтью [1]. Применение традиционных широко используемых методов добычи углеводородов для извлечения высоковязкой нефти (ВВН) газонефтяных залежей не позволяет достичь коэффициента извлечения нефти свыше 10 %. В связи с этим разработка в таких условиях в большинстве случаев становится нерентабельной.

Широкомасштабное применение методов увеличения нефтеотдачи (МУН) на уже разведанных площадях, в том числе с трудноизвлекаемыми запасами нефти, показали большую эффективность. Мировой опыт промышленного внедрения МУН [2] позволяет выделить два наиболее приоритетных направления: термогазовые и тепловые воздействия [3]. В связи с отмеченным основной задачей представленных в данной статье исследований являлось обоснование эффективности технологии разработки в условиях водоплавающей газонефтяной залежи с высоковязкой нефтью (ВВН).

В настоящей работе для виртуального месторождения «N» с осредненными геолого-физическими характеристиками, представленными в таблице 1 были рассчитаны прогнозные показатели разработки при различных технологиях методов МУН.

При использовании естественного упруговодонапорного режима пласта. Упругоёмкость водонапорной системы может оказаться достаточной для эффективной разработки контактных залежей нефти при значительных нефтенасыщенных толщинах слоя. В процессе разработки на естественном режиме, энергетический потенциал одошвенной воды и газовой шапки будут

Таблица 1 – Геолого-физические характеристики месторождения

Параметры	Значения
1	2
Средняя глубина залегания, м	1100
Тип залежи	тектонически
	нарушенная
	сводовая
	массивная
	водоплавающая
подгазовая	
Тип коллектора	поровый
Площадь нефтегазоносности, тыс. м ²	198960
Средняя общая толщина, м	31
Средняя газонасыщенная толщина, м	22,9
Средняя нефтенасыщенная толщина, м	10,7
Средняя водонасыщенная толщина, м	20
Пористость, %	0,36
Средняя нефтенасыщенность ЧНЗ, доли ед.	–
Средняя нефтенасыщенность ВНЗ, доли ед.	0,52
Средняя нефтенасыщенность ВНПГЗ, доли ед.	0,59
Средняя нефтенасыщенность газовой шапки, доли ед.	–
Средняя насыщенность газом газовой шапки, доли ед.	0,55
Проницаемость, м ²	2,5
Коэффициент песчанистости, доли ед.	68,6
Коэффициент расчлененности, доли ед.	8,5
Начальная пластовая температура, град. С	34
Начальное пластовое давление, МПа	11,1
Вязкость нефти в пластовых условиях, мПа·с	80
Плотность нефти в пластовых условиях, т/м ³	0,911
Плотность нефти в поверхностных условиях, т/м ³	0,94
Абсолютная отметка ВНК, м	–1037
Абсолютная отметка ГНК, м	–1021
Объемный коэффициент нефти, доли ед.	1,04
Содержание серы в нефти, %	0,71
Содержание парафина в нефти, %	1,2
Давление насыщения нефти газом, МПа	8,8
Газосодержание нефти, м ³ /т	24
Содержание стабильного конденсата, г/м ³	–
Вязкость воды в пластовых условиях, мПа·с	1,1
Плотность воды в пластовых условиях, т/м ³	1,1
Средняя продуктивность, x10 м ³ /сут./МПа	1,2

Окончание таблицы 1

1	2
Начальные балансовые запасы нефти, млн т.	334
в т.ч. по категории С1	305,01
по категории С2	27,045
Начальные извлекаемые запасы нефти, млн т.	73,615
в т.ч. По категории С1	68,205
по категории С2	5,409
Коэффициент нефтеизвлечения, доли ед.	0,2
в т.ч. По категории С1 и С2	0,2
Начальные балансовые запасы свободного газа, млн м ³	61319
в т.ч. По категории С1	60923
по категории С2	396

обеспечивать преимущественно двухсторонний вертикальный напор по толщине нефтяного слоя непосредственно над интервалом перфорации каждой скважины и под ним. Данные показателей разработки месторождения являются оптимистичными, т.к. выполнены при условии качественного создаваемого барьера на границе ГНК [4].

По расчеты прогнозных показателей разработки месторождения на режиме истощения и при заводнении позволяют отметить крайне низкую технологическую эффективность и нерентабельность рассмотренных технологий. Так коэффициент извлечения нефти по самым оптимистическим прогнозам не достигает даже 10 процентов, накопленная добыча нефти на одну скважину не превышает 12.5 тыс. т при естественном режиме и 14 тыс. т при заводнении. Поэтому нами была рассмотрена возможность реализации на месторождении N методов повышения нефтеотдачи.

Но о приоритетное более эффективное влияние применения тепловых методов МУН в условиях высоковязкой нефти, были проведены технологические показатели термогазовое воздействие и паротепловое воздействие.

Термогазовое воздействие

Технология термогазового воздействия позволяет увеличить извлечение нефти на 10–11 % по сравнению с базовым методом. Если, помимо, основной технологии также применить пароциклическое воздействие, то это позволит добиться прироста КИН ещё на 1,5–2 %. Данный метод эффективнее, чем рассмотренные выше, но он не так часто применяется из-за сложности контроля

и значительной степени риска [5]. С точки зрения экономики термогазовое воздействие является рентабельным.

На представленном ниже графике (рис. 1) изображена зависимость эффективности термогазового воздействия от толщины нефтенасыщенного горизонта.

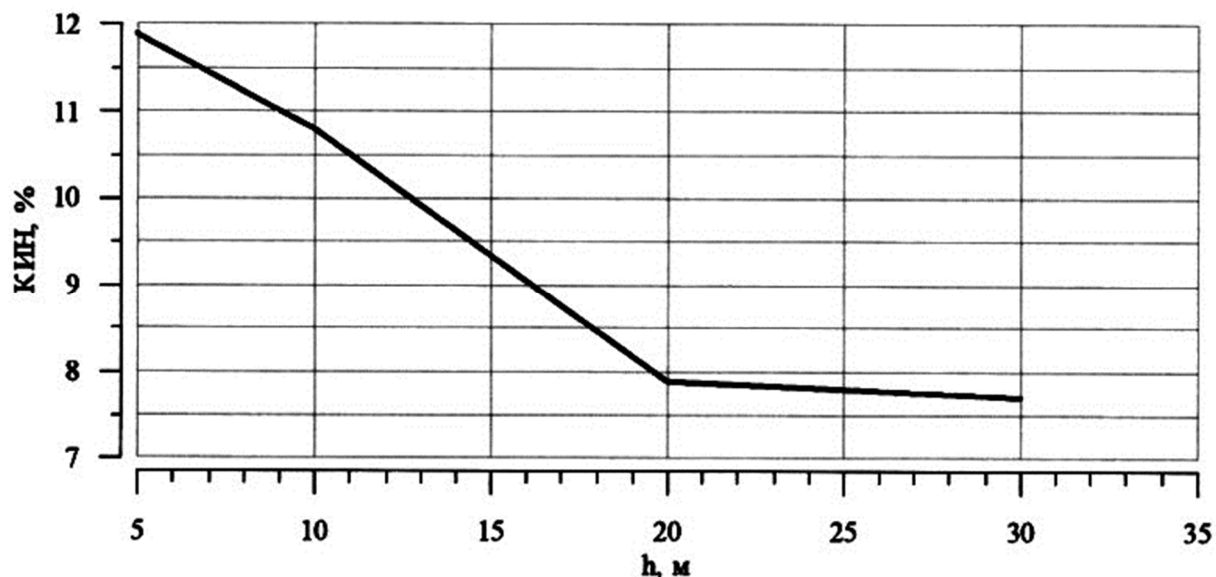


Рисунок 1 – Прирост КИН в зависимости от толщины пласта

Сопоставив характеристики нашей залежи и имеющийся график видим, что ожидаемый прирост КИН при термогазовом воздействии приблизительно равен 11 %. В сумме с нефтеотдачей от естественных режимов, общий КИН при ТГВ будет примерно равен 20 %. Для того, чтобы увеличить его применим пароциклическое воздействие, проводимое в добывающих скважинах на протяжении первого года эксплуатации.

Представленное у нас месторождение разрабатывается с применением термогазового воздействия. Так как начальная температура в пласте недостаточна для организации процесса стабильного низкотемпературного окисления, предварительно прогреем нагнетательные скважины паром в течении первых двух месяцев после пуска в эксплуатацию [6].

Рассчитаем характеристики процесса разработки при использовании девятиточечной системы и при пробуривании по 60 скважин в год.

При выполнении данной работы, для численного исследования основных особенностей механизма термогазового метода

увеличения нефтеотдачи используется гидродинамический симулятор Athos-SimView – современная разработка учёных Французского Института Нефти и компании Weicir (Франция). Данный гидродинамический симулятор даст нам возможность корректно моделировать гидродинамические и физико-химические процессы, включая задачи, связанные с внутрипластовым окислением.

Многокомпонентный массо- и теплоперенос, фазовые состояния и химические процессы являются связанными процессами и описываются различными системами уравнений.

Технологические показатели вариантов разработки I эксплуатационного объекта.

По первому эксплуатационному объекту рассчитаны технологические показатели варианта разработки.

Он характеризуется фондом скважин в 3180 единиц, в т.ч. 2400 – добывающих и 780 – нагнетательных.

Проектные уровни добычи нефти – 1371,2 тыс. т., жидкости – 11490 тыс. т., закачки воздуха – 1961857 тыс. м³, закачка пара – 157,5 тыс. т

Накопленная добыча за 88-ти летний период составит:

- нефти – 72670,95 тыс. т.;
- жидкости – 608970 тыс. т.;
- закачка воздуха – 103978,4 млн м³;
- закачка пара – 8347,5 тыс. т.

Текущий коэффициент нефтеизвлечения составит 21,8 %.

Показатели разработки данного варианта приведены на рисунке 2.

При выборе данного варианта (по 60 скважин в год, 45 добывающих, 15 нагнетающих) всё месторождение было разбурено за 53 года.

Коэффициент нефтеотдачи, полученный нами в результате расчётов равен 21,8 %. Как уже писалось выше ожидаемые результаты применения термогазового воздействия на наш пласт, это КИН в районе 20 %. Но необходимо учесть, что были проведены пароциклические обработки скважин, что должно было увеличить нефтеотдачу на 1,5–2 %. Таким образом полученный по расчётам КИН (21,8 %) совпадает с предсказанным на основе теоретических данных коэффициент извлечения нефти в 21,5–22 %.

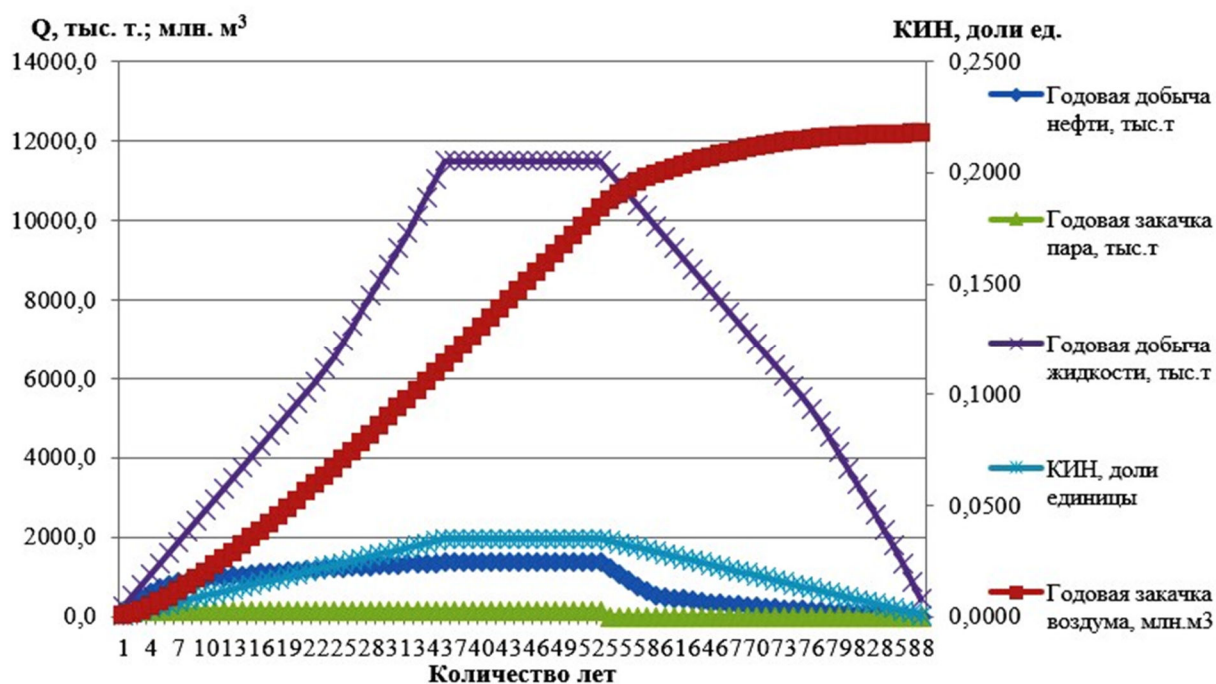


Рисунок 2 – Технологические показатели разработки

Паротепловое воздействие

В процессе разработки месторождения пластовая температура может изменяться, закачиваемая в пласт вода имеет другую температуру, в пласте происходят процессы, связанные с выделением или поглощением тепла. Изменение температуры будет происходить за счет гидравлического сопротивления фильтрующихся флюидов, за счет эффекта Джоуля-Томсона.

Распределение пластовой температуры и ее изменение называется температурным режимом. Изменение температурного режима происходит в основном за счет теплопроводности и конвекции [7].

Особенность применения паротепловых методов состоит в том, что наряду с гидродинамическим вытеснением нефти повышается температура в залежи, образуется дополнительный тепловой фронт вытеснения нефти горячей водой. Причем гидродинамический фронт вытеснения опережает тепловой фронт вытеснения, поскольку передача тепла от теплоносителя для разогрева вязкой нефти происходит постепенно.

Повышение температуры нефти, воды и породы приводит к снижению вязкости нефти, изменению отношения подвижностей нефти и воды, к изменению относительных проницаемостей, остаточной нефтенасыщенности, к испарению легких фракций, происходит тепловое расширение коллектора.

Исходя из условия применения паротеплового воздействия на пласт проектные скважины размещаются в зонах с эффективной нефтенасыщенной толщиной более 5 метров.

Срок службы скважин для условий разрабатываемого месторождения составляет 30 лет.

В настоящей работе произведен расчет технологических показателей варианта разработки.

Элементы разработки варианта состоят из 9-ти точечной системы скважин.

Вариант разработки – темп разбуривания – 15 элементов в год (60 скважин, 45 – эксплуатационных, 15 – нагнетательных).

Основной фонд скважин месторождения – 3180 едини, 2400 добывающих и 780 нагнетательных.

Проектные уровни добычи нефти элемента – 2384,1 тыс. т., газа – 74,8 тыс. м³, жидкости – 12 375 млн м³, закачки пара – 118651 тыс. м³, – закачки воды – 3 396 тыс. м³.

Накопленная добыча нефти за 82-х летний период разработки составит:

- нефти – 81,5 млн т.;
- газа 3,94 млн м³;
- жидкости 805 млн т.;
- закачка пара – 421 млн т.;
- закачка воды – 510 млн т.;
- КИН – 0,244.

Показатели разработки данного варианта приведены на рисунке 3.

Паротепловое воздействие позволяет увеличить КИН до 24,4 %, при этом срок окупаемости составляет 13 лет, а период рентабельности – 57 лет.

Бурение будет продолжаться 53 года, срок разработки месторождения до достижения проектной нефтеотдачи – 82 года.

Дополнительно приведен вариант разработки месторождения с применением горизонтальных добывающих скважин.

Сравнение технологической эффективности реализации методов повышения нефтеотдачи пласта

Для сопоставления были приведены пять различных технологий:

- полимерное заводнение, водогазовое воздействие, термомогзовое воздействие и паротепловое воздействие с использованием горизонтальных скважин и без (рис. 4).

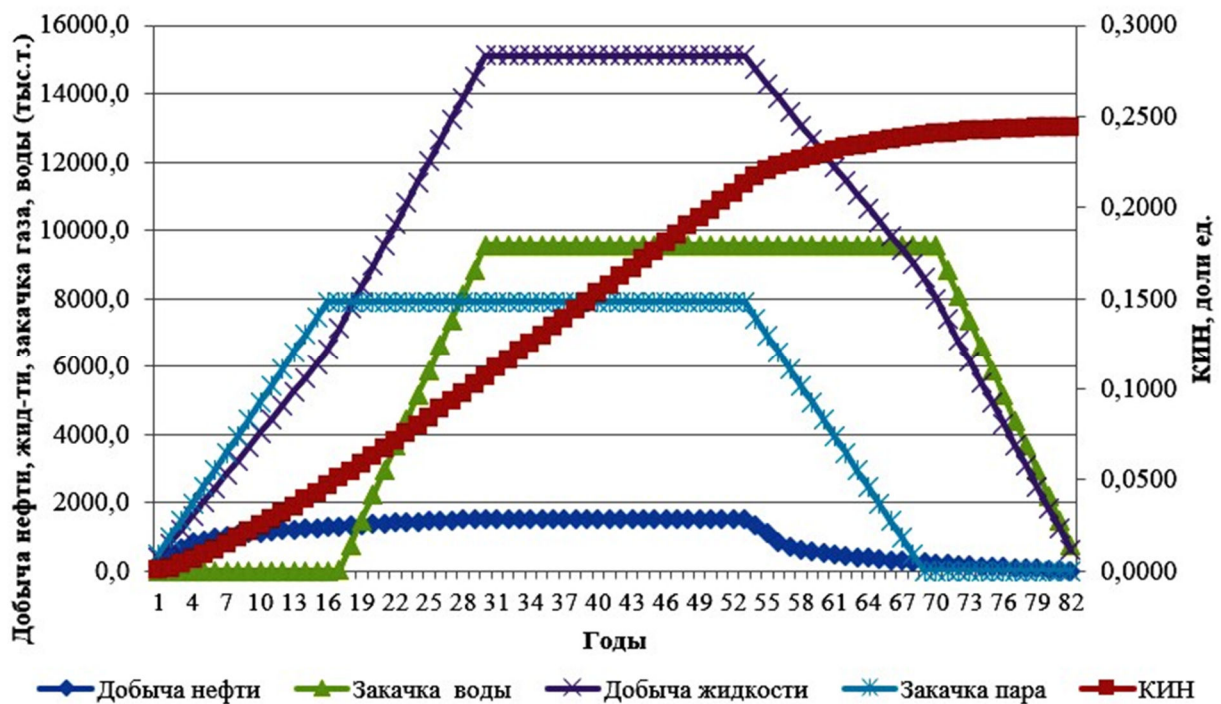


Рисунок 3 – График основных технологических показателей разработки

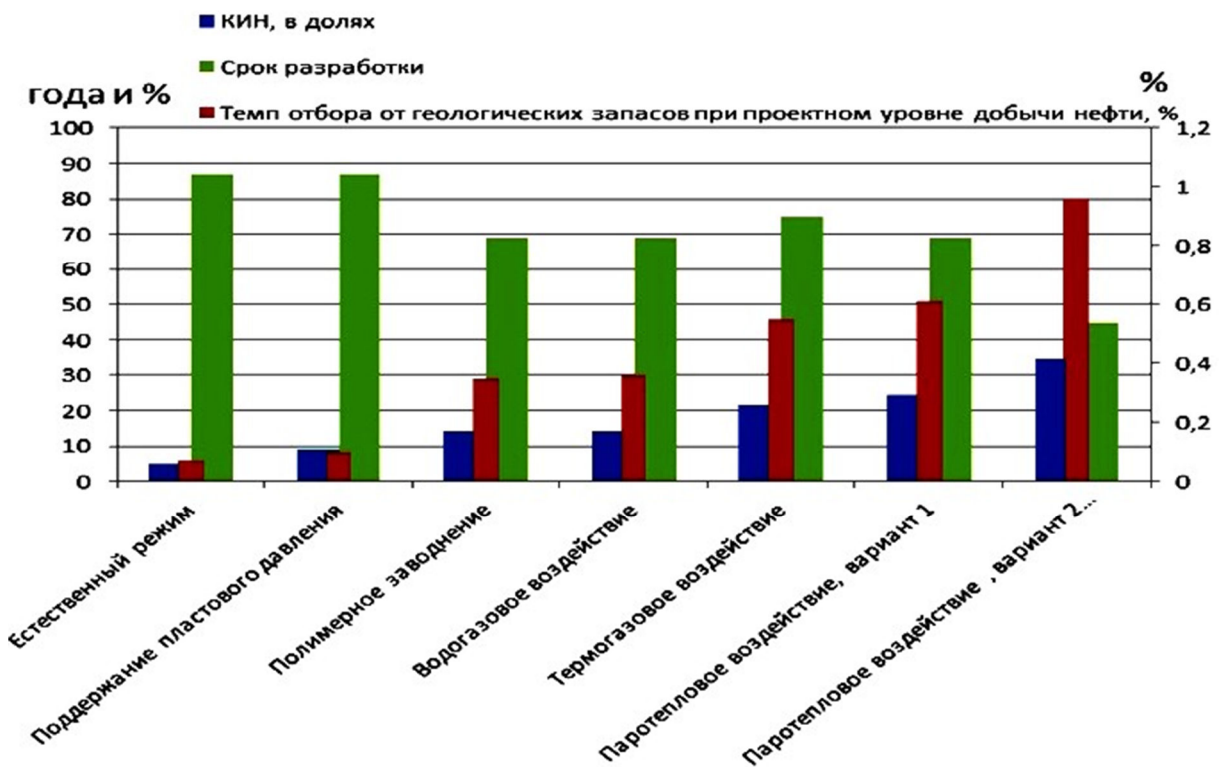


Рисунок 3 – Сопоставление результатов использования МУН

Полимерное заводнение и водогазовое воздействие показали похожие результаты, их около КИН 14 %. Срок разработки 69 лет. Это выше, чем при обычном заводнении, но значительно уступает двум последним методам. Термогазовое воздействие демонстрирует КИН 21,8 %, но для его проведения необходим

предварительный прогрев пласта. Так же были проведены пароциклические обработки, что тоже повлияло на увеличение коэффициента нефтеотдачи. Срок разработки немного больше, если сравнивать с предыдущими вариантами, 75 лет.

Самым эффективным из рассмотренных методов является паротепловое воздействие. При этом использование в технологии горизонтальных скважин способствует росту КИН., 24,4 % извлечённой нефти в первом случае и 33,08 % при использовании горизонтальных скважин. Срок разработки 69 лет и 45 лет. При использовании горизонтальных скважин их необходимо гораздо меньше, чем вертикальных. В связи с этим срок разбуривания сокращается, а с этим и общее время разработки.

Выводы

Сопоставив результаты, полученные от разных технологий, можно сделать вывод, что наиболее эффективным методом увеличения нефтеотдачи при данных геолого-физических характеристиках месторождения является паротепловое воздействие, а именно ПТВ с использованием горизонтальных скважин. С точки зрения экономики, данный вариант разработки месторождения позволяет получить максимальную дисконтированную прибыль.

Несмотря на то, что паротепловое воздействие как бы не было лучше возможно, что термгазовый метод может быть эффективнее в случае наличия в разрезе глинистых пород склонных к набуханию.

Список литературы

1. Дубив И.Б. Оценка перспективных технологий разработки сложнопостроенных месторождений высоковязкой нефти на примере Тазовского НГКМ // Бурение и нефть. – 2012. – № 5. – С. 28–30.
2. Назарова Л.Н. Разработка нефтегазовых месторождений с трудноизвлекаемыми запасами : учеб. пособие для вузов. – М. : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. – 156 с.
3. Рузин Л.М. Разработка залежей высоковязких нефтей и битумов с применением тепловых методов / Л.М. Рузин, О.А. Морозюк. – Ухта : УГТУ, 2015. – 166 с.
4. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти : учебник для вузов. – М. : Недра-Бизнесцентр, 2009. – 510 с.
5. Ямбаев М.Ф. Основные результаты численного исследования термогазового метода увеличения нефтеотдачи. – М., 2005. – С. 43–85.
6. Фаткуллин А.А. Значение газовых методов в освоении трудноизвлекаемых запасов нефти // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 1. – С. 32–35.

7. Опыт создания внутрипластового движущегося очага горения на месторождении США (Обзор зарубежной литературы). – М. : ВНИИОЭНГ, 1989. – 84 с.

List of references

1. Dubiv I.B. Evaluation of promising technologies for the development of complex deposits of high-viscosity oil on the example of the Tazovsky NGCM // Drilling and oil. – 2012. – № 5. – P. 28–30.

2. Nazarova L.N. Development of oil and gas fields with hard-to-recover reserves : textbook for universities. – М. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2011. – 156 p.

3. Ruzin L.M. Development of deposits of high-viscosity oils and bitumen using thermal methods / L.M. Ruzin, O.A. Morozyuk. – Ukhta : UGTU, 2015. – 166 p.

4. Shchurov V.I. Technology and technique of oil production. Textbook for universities. – М. : Nedra-Biznestsentr, 2009. – 510 p.

5. Yambaev M.F. The main results of the numerical study of the thermogasic method of increasing oil recovery. М., 2005. – P. 43–85.

6. Fatkullin A.A. The importance of gas methods in the development of hard-to-recover oil reserves. Oil Industry. – 2000. – № 1. – P. 32–35.

7. Experience in creating an intra-layer moving combustion hearth at a US field (Review of foreign literature). Gorenje. – М. : ВНИИОЭНГ, 1989. – 84 p.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ SAGD**

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS
OF THE DEVELOPMENT SYSTEM ON THE EFFICIENCY
OF THE SAGD TECHNOLOGY**

Джалалов Константин Эдуардович

кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
kdzhalalov@mail.ru

Лукманов Радмир Рустамович

магистр кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
lukmanov_radmir@inbox.ru

Левченко Маргарита Романовна

магистр кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
rita.levchenko.1998@mail.ru

Аннотация. Несмотря на накопленный опыт в области тепловых методов воздействия, для отечественной нефтяной промышленности представляется крайне необходимым поиск и оптимизация новых, более совершенных технологий разработки залежей тяжелой нефти и битумов. Это обусловлено как структурой трудноизвлекаемых запасов, так и необходимостью более полной разработки запасов углеводородов при достаточной высокой эффективности добычи. Значительная доля балансовых запасов ТРИЗ в России приходится на битумы и ВВС, при этом геологические

ресурсы природных битумов на порядок превышают извлекаемые запасы тяжелой нефти. Для разработки таких месторождений с достижением приемлемых значений коэффициентов извлечения необходимы новейшие тепловые методы, превосходящие по эффективности уже традиционные технологии ПТВ. Одним из таких способов является парогравитационный дренаж (SAGD – Steam-Assisted Gravity Drainage) [1; 2].

Ключевые слова: SAGD, расположение скважин, длина горизонтального участка, расстояние между скважинами, нефтеотдача, высоковязкая нефть, природный битум

Dzhalalov Konstantin Eduardovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Oil and Gas
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
kdzhalalov@mail.ru

Lukmanov Radmir Rustamovich

Master of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
lukmanov_radmir@inbox.ru

Levchenko Margarita Romanovna

Master of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
rita.levchenko.1998@mail.ru

Annotation. Despite the accumulated experience in the field of thermal research, it seems very interesting for the domestic oil industry to search for and optimize more advanced technologies for the development of oil and bitumen. This study is both a structure of hard-to-recover reserves and a more complete development of hydrocarbon reserves with a sufficiently high production efficiency. As already mentioned, the share of recoverable hard-to-recovery reserves in Russia falls on bitumen and VVS. At the same time, the natural resources of natural bitumen exceed the recoverable oil reserves by an order of

magnitude. In order to develop such deposits with acceptable recovery rates, improved thermal methods are needed that are superior to the efficiency of already applied PTV technologies. One such option is Steam-Assisted Gravity Drainage (SAGD) [1; 2].

Keywords: SAGD, location of wells, length of the horizontal section, distance between wells, oil recovery, high oil cohesion, presence of bitumen.

Сущность технологии SAGD заключается в бурении двух горизонтальных скважин, через нефтенасыщенные толщины вблизи подошвы пласта, с расположением скважин одна над другой. Расстояние между скважинами, как правило, составляет 5 метров, а длина горизонтальных стволов достигает 1000 м. Верхнюю скважину используют под нагнетание пара в пласт. Закачиваемый пар создает в пласте так называемую «паровую камеру», объем которой в процессе реализации метода распространяется в пласте. Сначала пар устремляется вверх до кровли пласта, а затем камера распространяется вширь от оси скважины. Пар конденсируется на границе камеры, при этом высвобождается скрытая теплота парообразования и битумосодержащая порода прогревается, при этом вязкость битума снижается до величин, при которой его перемещение в пласте становится возможным [3; 4]. Особенностью технологии является то, что разогретый битум дренируется не только за счет разности давлений между скважинами, но и под действием гравитационных сил, вследствие чего, эффективность метода тем больше, чем выше плотность добываемой продукции. Ввиду этого, на месторождениях с высоковязкой нефтью, но малой ее плотностью, данная технология неэффективна [5].

В совокупности, параметры, влияющие на эффективность разработки залежи методом парогравитационного дренирования можно условно разделить на 2 категории:

1. Параметры, характеризующие систему разработки залежи: расположение горизонтальных участков пары скважин относительно осевой плоскости пласта, длина горизонтальных участков, расстояние между скважинами, плотность сетки скважин;

2. Параметры, определяющие технологический режим работы скважин: продолжительность стадии предпрогрева, темп закачки пара, температура пара, степень сухости пара, давление/отбор в добывающей скважине.

В данной статье будет описано влияние параметров первой категории, за исключением плотности сетки скважин. При этом сама оценка производилась посредством расчета соответствующих вариантов на гидродинамической модели с помощью программы tNavigator. Для проведения исследований была разработана термическая модель парогравитационного дренажа для элемента виртуального месторождения природных битумов [6]. Размеры трехмерной модели были приняты равными 700 × 100 × 15 метров, количество ячеек составляет 10 × 45 × 30 (общее количество 13500). Размеры каждой ячейки составляют DX = 70 м, DY = 0,5/3,49 м (измельчение сетки в зоне пары добывающих скважин для более четкого задания тепловых полей в процессе стадии предпрогрева), DZ = 0,5 м. В качестве породы-коллектора был принят песчаник, в качестве кровли и подошвы – прослой глины, параметры, такие как геологические характеристики залежи, ФЕС, ФХС и т.д., приняты как наиболее характерные для месторождений тяжелых нефтей и природных битумов и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры модели

Параметр	Значение
Глубина залегания кровли, м	800
Начальная (связанная) водонасыщенность, д.ед.	Градиент 0,1...0,25
Начальная нефтенасыщенность, д.ед.	Градиент 0,9...0,75
Проницаемость X, мД	2000
Проницаемость Y, мД	2000
Проницаемость Z, мД	200
Пористость, д.ед.	0,3
Начальное пластовое давление, атм	78,5
Начальная пластовая температура, °С	10
Сжимаемость породы, 1/атм	0,00026
Теплоемкость пласта-коллектора, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$	2100
Теплоемкость кровли и подошвы, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$	2200
Теплопроводность пласта-коллектора, $\frac{\text{кДж}}{\text{м} \cdot \text{сут} \cdot \text{К}}$	225
Теплопроводность кровли и подошвы, $\frac{\text{кДж}}{\text{м} \cdot \text{сут} \cdot \text{К}}$	185
Плотность нефти, кг/м ³	979
Вязкость нефти при пластовой температуре, сП (зависимость от температуры представлена на рис. 1)	10000

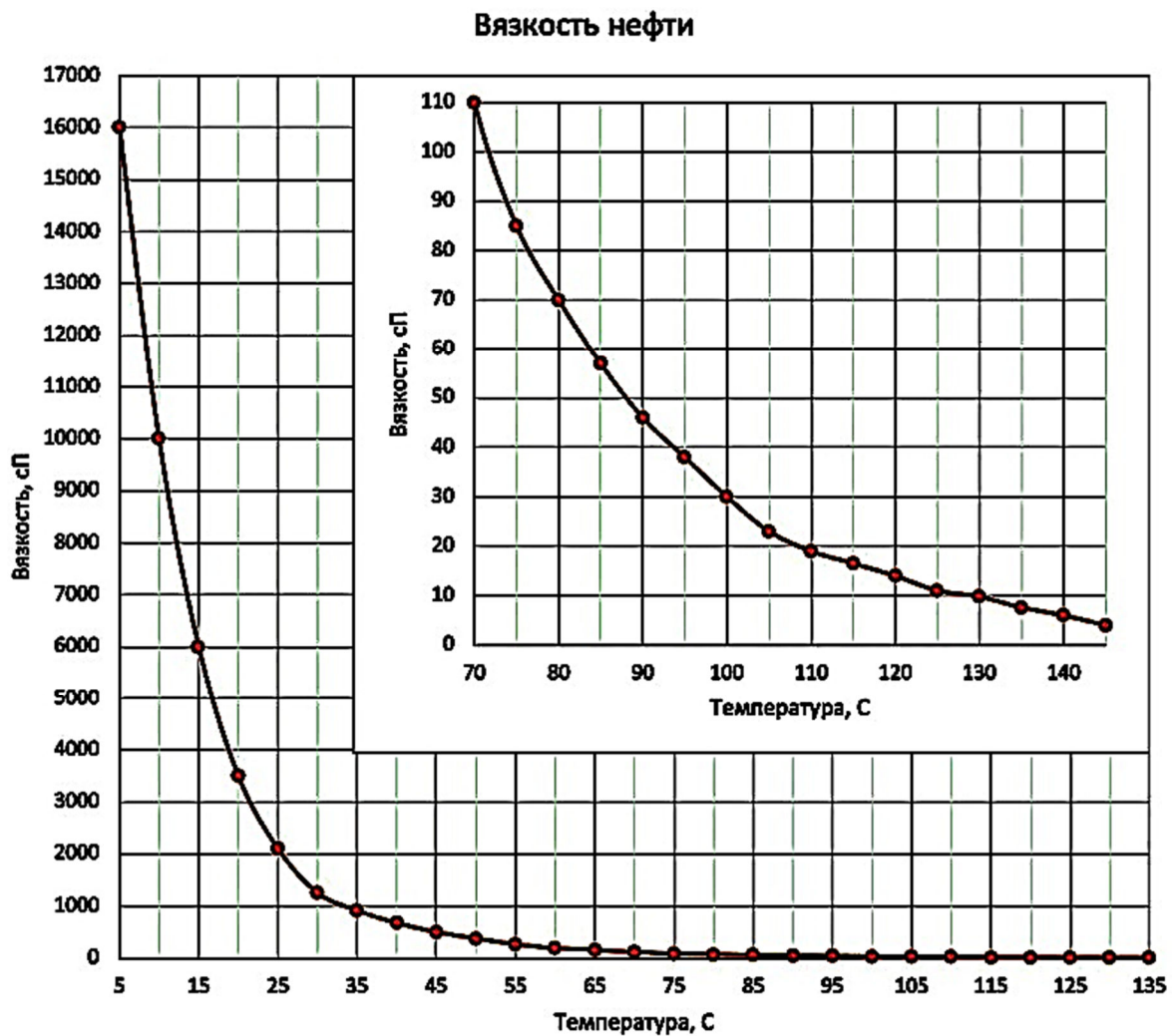


Рисунок 1 – Зависимость вязкости нефти от температуры

Влияние расположения горизонтальных участков пары скважин относительно осевой плоскости пласта оценивалось для следующих вариантов: верхнее, срединное и нижнее расположения (рис. 2, 3, 4).

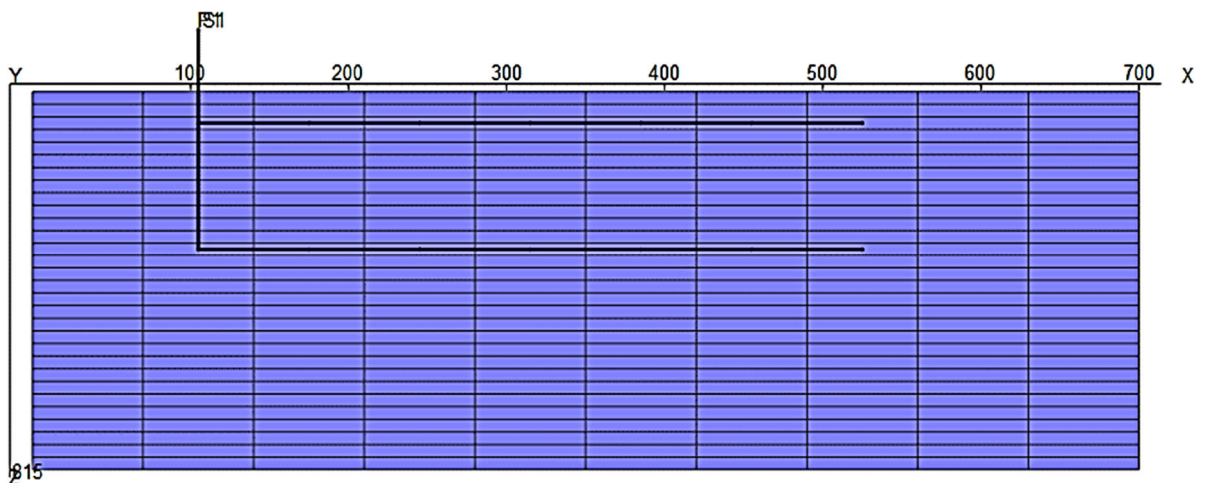


Рисунок 2 – Верхнее расположение

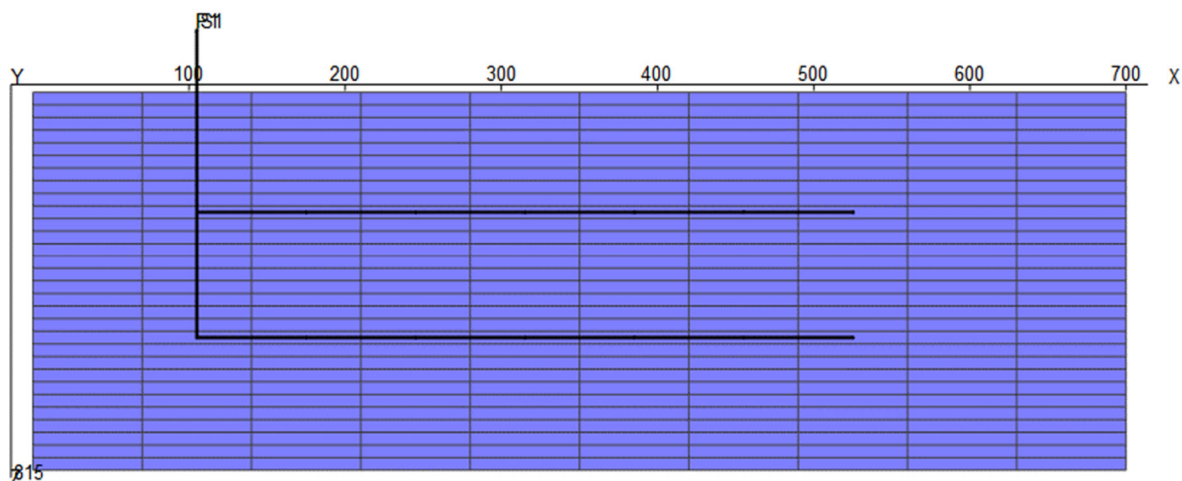


Рисунок 3 – Срединное расположение

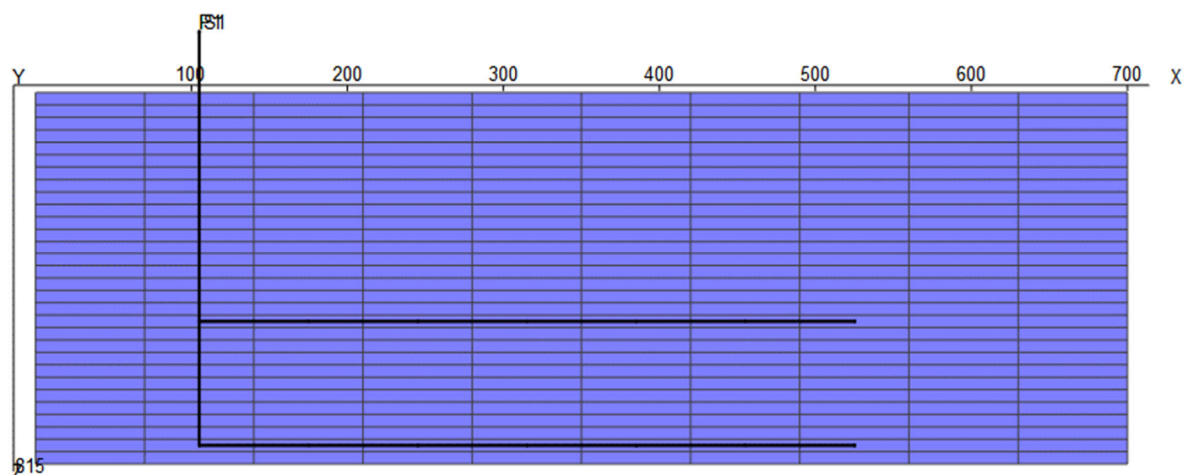


Рисунок 4 – Нижнее расположение

Результаты проведенных расчетов представлены в графическом виде, а именно в виде динамики нефтеотдачи (рис. 5), динамики накопленного ПНО (рис. 6), динамики добычи нефти (рис. 7) в процессе разработки залежи. Результаты расчетов, а также параметры, характеризующие технологический режим работы скважин представлены в таблице 2.

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что наиболее оптимальное расположение пары скважин – нижнее, поскольку оно обеспечивает большее значение нефтеотдачи за один и тот же период разработки, при этом наименьшее значение накопленного ПНО и более высокие дебиты добывающей скважины.

Влияние длины горизонтального участка скважин оценивалось для следующих вариантов: 280, 420 и 560 метров. Из анализа предыдущего параметра, в данном случае принято нижнее расположение, иные параметры, принятые в моделях, как и полученные результаты расчетов представлены в таблице 3.

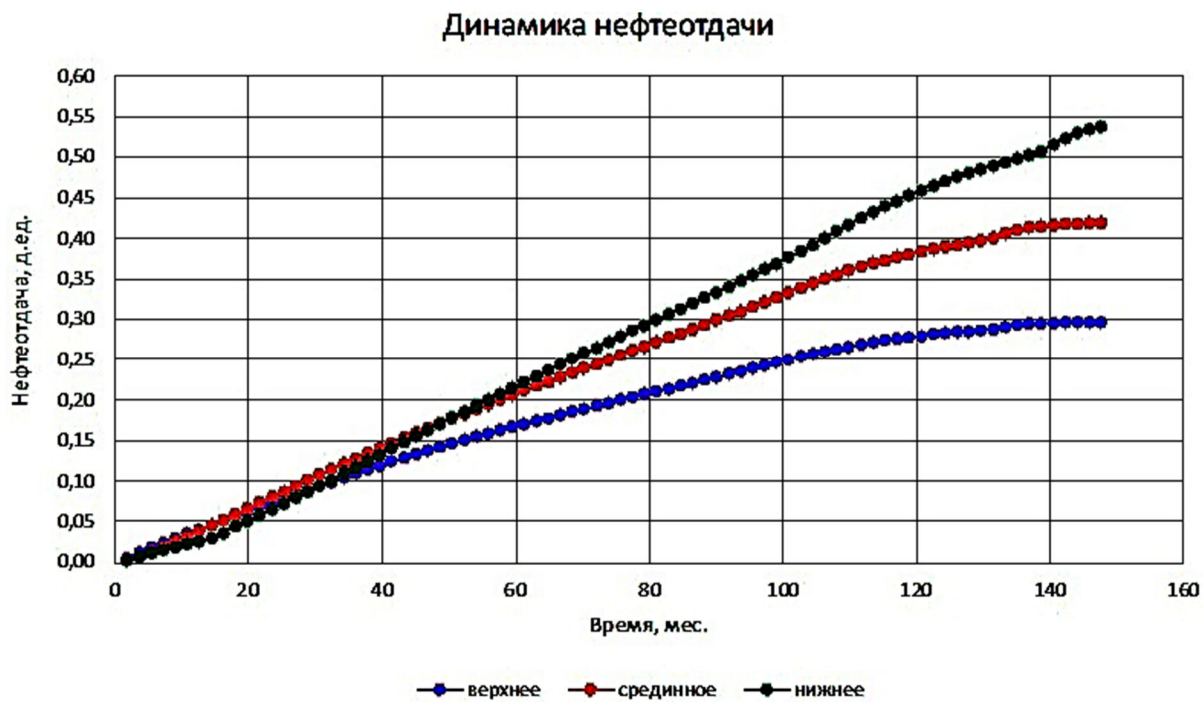


Рисунок 5 – Динамика нефтеотдачи
в зависимости от расположения пары скважин

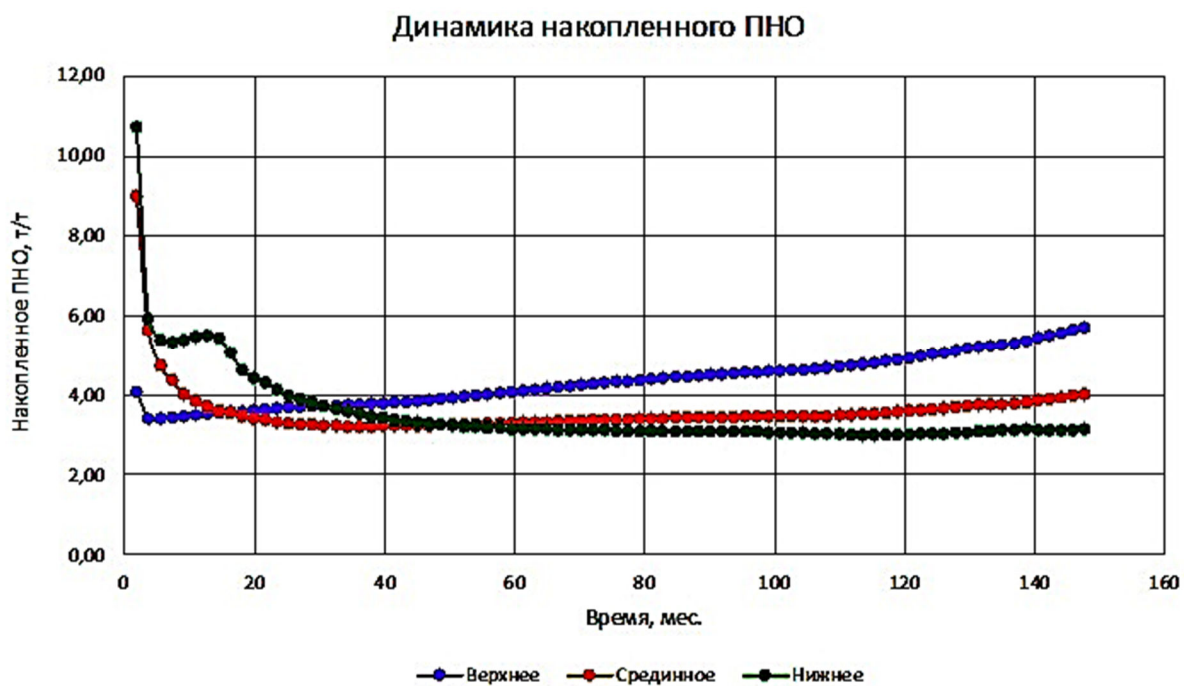


Рисунок 6 – Динамика накопленного ПНО
в зависимости от расположения скважин

Динамика добычи нефти

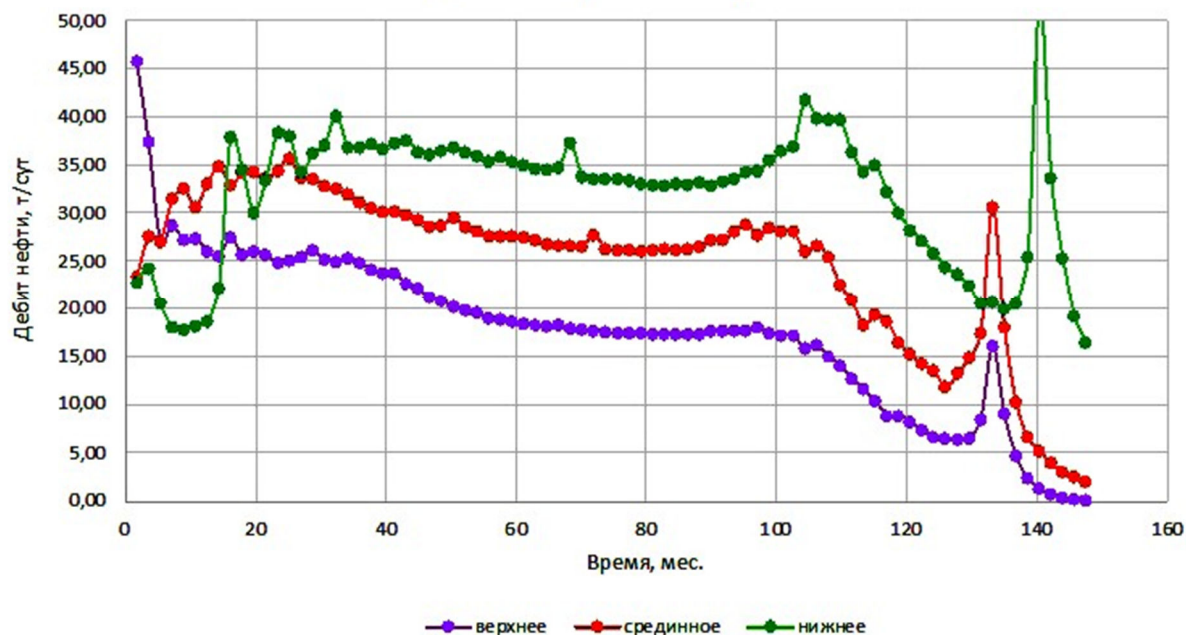


Рисунок 7 – Динамика добычи нефти в зависимости от расположения пары скважин

Таблица 2 – Сводная таблица оценки влияния расположения пары скважин

Параметры модели		Расположение пары скважин	Величина нефтеотдачи и накопленного ПНО на конец разработки
Давление в добывающей скважине	61,5 атм	верхнее	$\eta = 0,30$ д. ед ПНО = 5,71 т/т
Темп закачки в нагнетательной скважине	100 м ³ /сут		
Температура пара	200 °С	срединное	$\eta = 0,42$ д. ед ПНО = 4,04 т/т
Сухость пара	0,7		
Расстояние между скважинами	5 м	нижнее	$\eta = 0,54$ д. ед ПНО = 3,15 т/т
Длина горизонтального участка	420 м		

Таблица 3 – Сводная таблица оценки влияния длины горизонтального участка пары скважин

Параметры модели		Длина горизонтального участка	Величина нефтеотдачи и накопленного ПНО на конец разработки
1	2	3	4
Давление в добывающей скважине	61,5 атм	280 метров	$\eta = 0,40$ д. ед ПНО = 4,19 т/т
Темп закачки в нагнетательной скважине	100 м ³ /сут		

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
Температура пара	200 °С	420 метров	$\eta = 0,54$ д. ед ПНО = 3,15 т/т
Сухость пара	0,7		
Расстояние между скважинами	5 м	560 метров	$\eta = 0,60$ д. ед ПНО = 2,8 т/т
Расположение горизонтальных участков пары скважин	нижнее		

Согласно полученным результатам расчетов видно, что оптимальная длина скважин – наибольшая (в нашем случае – 560 метров). Наибольшая длина горизонтального участка обеспечивает более высокую конечную нефтеотдачу (рис. 8), при этом минимальное накопленное ПНО (рис. 9) и наибольший дебит по нефти (рис. 10) и при этом более позднее резкое повышение обводненности скважинной продукции.

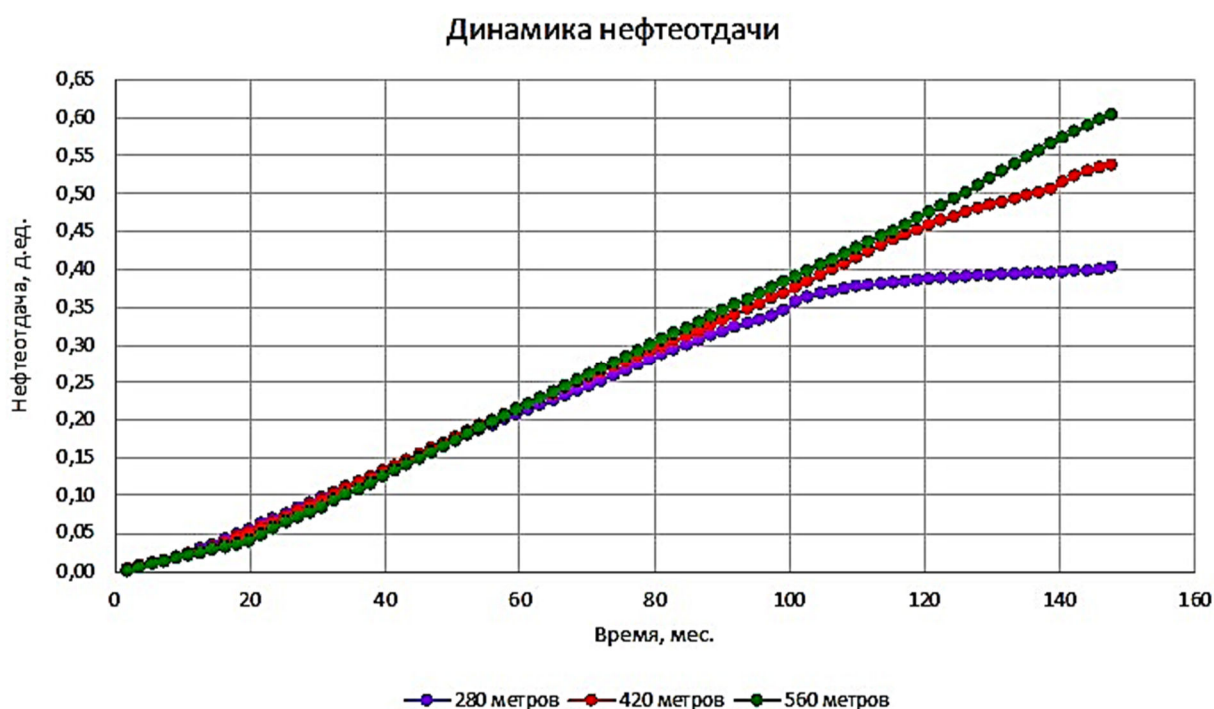


Рисунок 8 – Динамика нефтеотдачи в зависимости от длины горизонтального участка пары скважин

Оценка характера влияния расстояния между горизонтальными участками скважин производилась на основе вариантов в 5, 7 и 9 метров. При этом предыдущие параметры были заданы оп-

тимальными (т.е. нижнее расположение пары скважин и наибольшая их протяженность в 560 метров). Иные параметры, принятые в моделях, как и полученные результаты расчетов представлены в таблице 4.

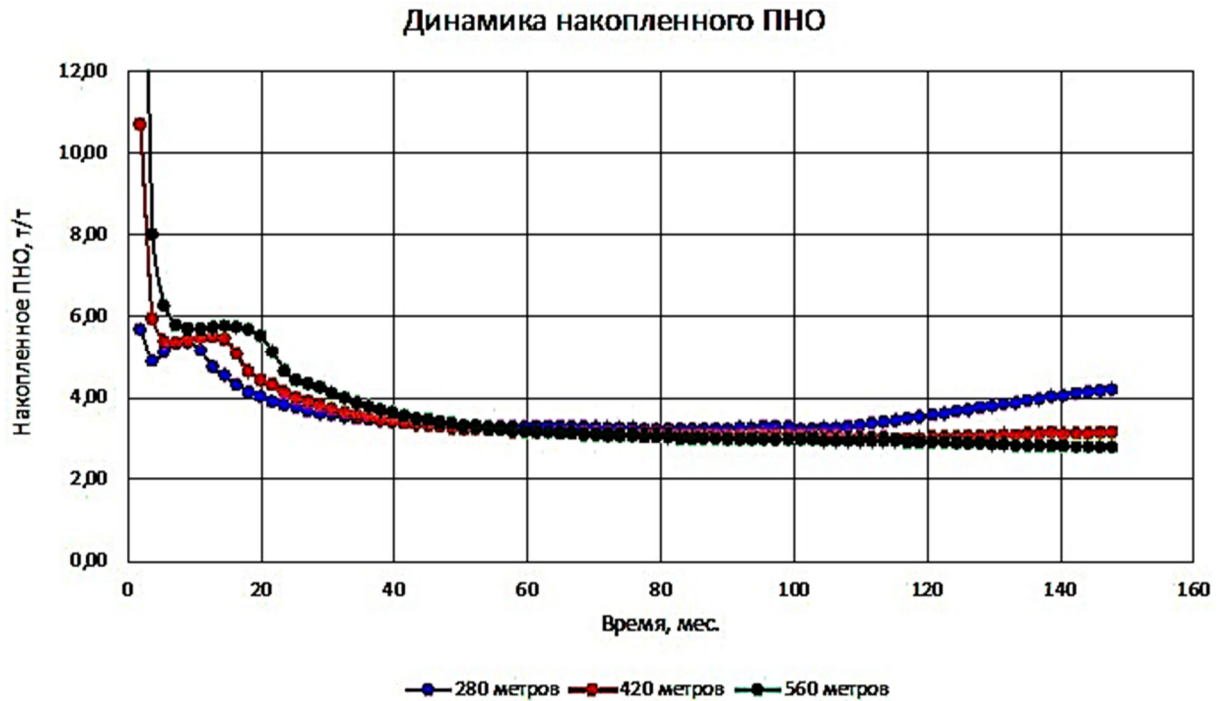


Рисунок 9 – Динамика накопленного ПНО в зависимости от длины горизонтального участка пары скважин

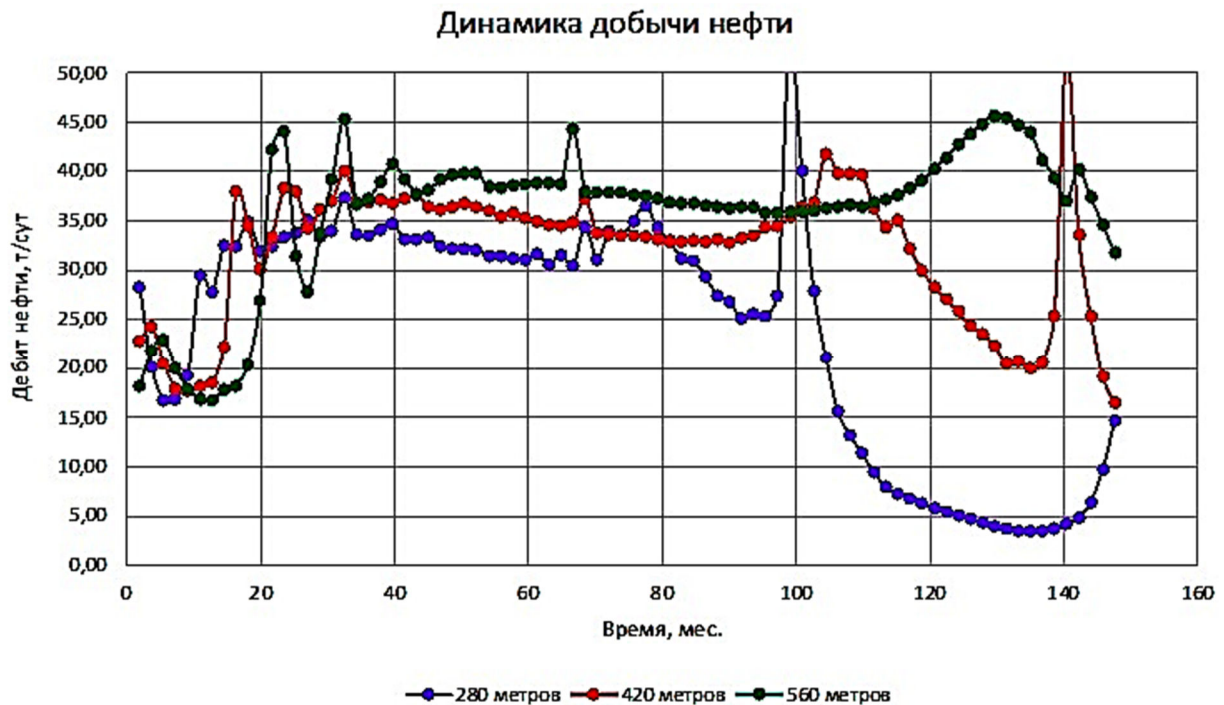


Рисунок 10 – Динамика добычи нефти в зависимости от длины горизонтального участка пары скважин

Таблица 4 – Сводная таблица оценки влияния расстояния между скважинами

Параметры модели		Расстояние между горизонтальными участками скважин	Величина нефтеотдачи и накопленного ПНО на конец разработки
Давление в добывающей скважине	61,5 атм	5 метров	$\eta = 0,604$ д. ед ПНО = 2,8 т/т
Темп закачки в нагнетательной скважине	100 м ³ /сут		
Температура пара	200 °С	7 метров	$\eta = 0,623$ д. ед ПНО = 2,72 т/т
Сухость пара	0,7		
Длина горизонтального участка пары скважин	560 м	9 метров	$\eta = 0,632$ д. ед ПНО = 2,68 т/т
Расположение горизонтальных участков пары скважин	нижнее		

По графикам зависимостей нефтеотдачи (рис. 11), накопленного ПНО (рис. 12) видно, что величина расстояния практически не сказывается на эффективности выработки запасов, однако, если принять во внимание динамику добычи нефти (рис. 12), то между расстоянием между скважинами и началом добычи нефти существует прямая связь, и чем выше это расстояние, тем более поздний наблюдается переход к добыче нефти (рис. 13 и 14).

Динамика нефтеотдачи

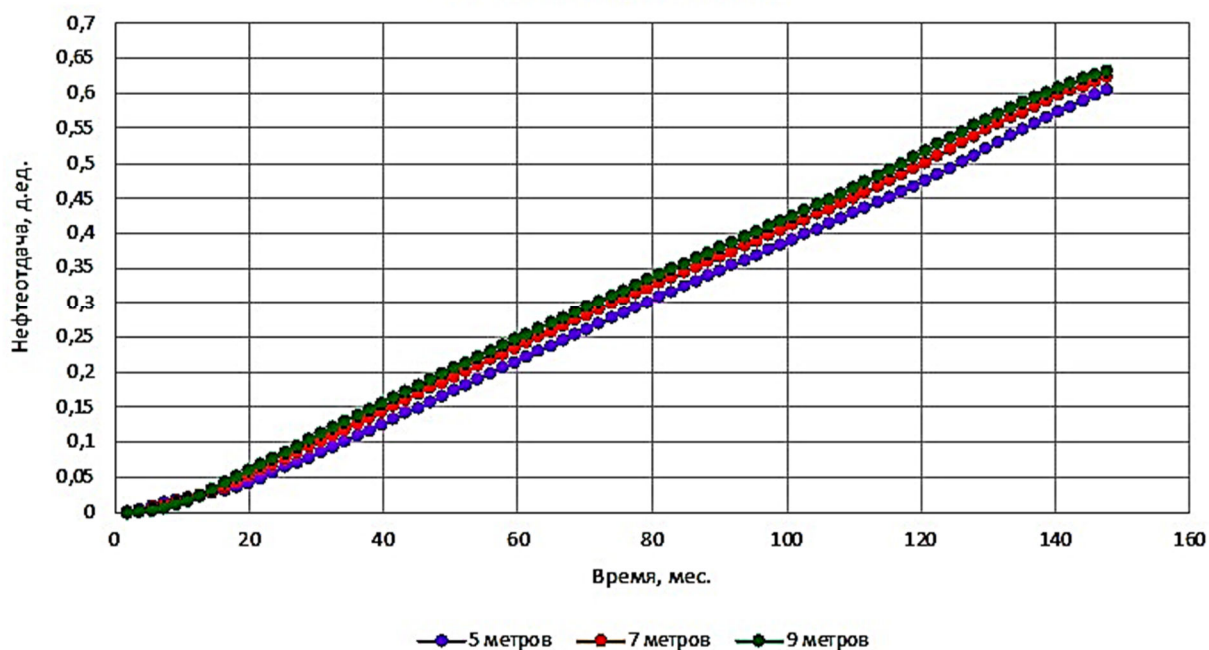


Рисунок 11 – Динамика нефтеотдачи в зависимости от расстояния между скважинами

Динамика накопленного ПНО

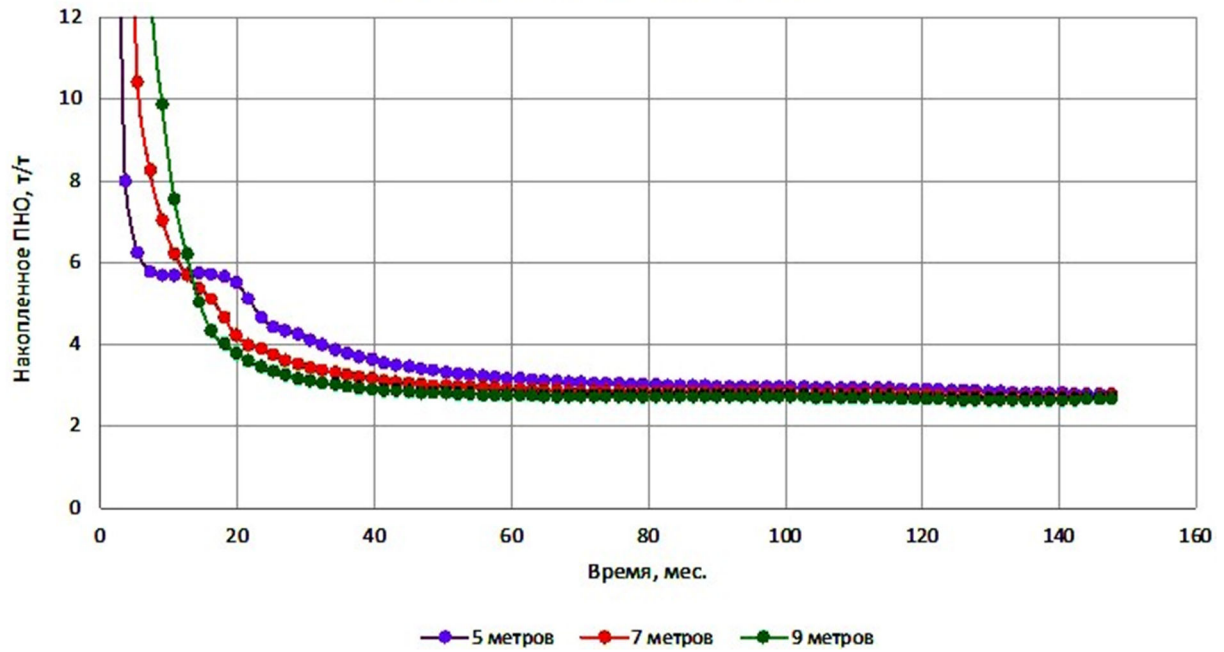


Рисунок 12 – Динамика накопленного ПНО в зависимости от расстояния между скважинами

Динамика добычи нефти

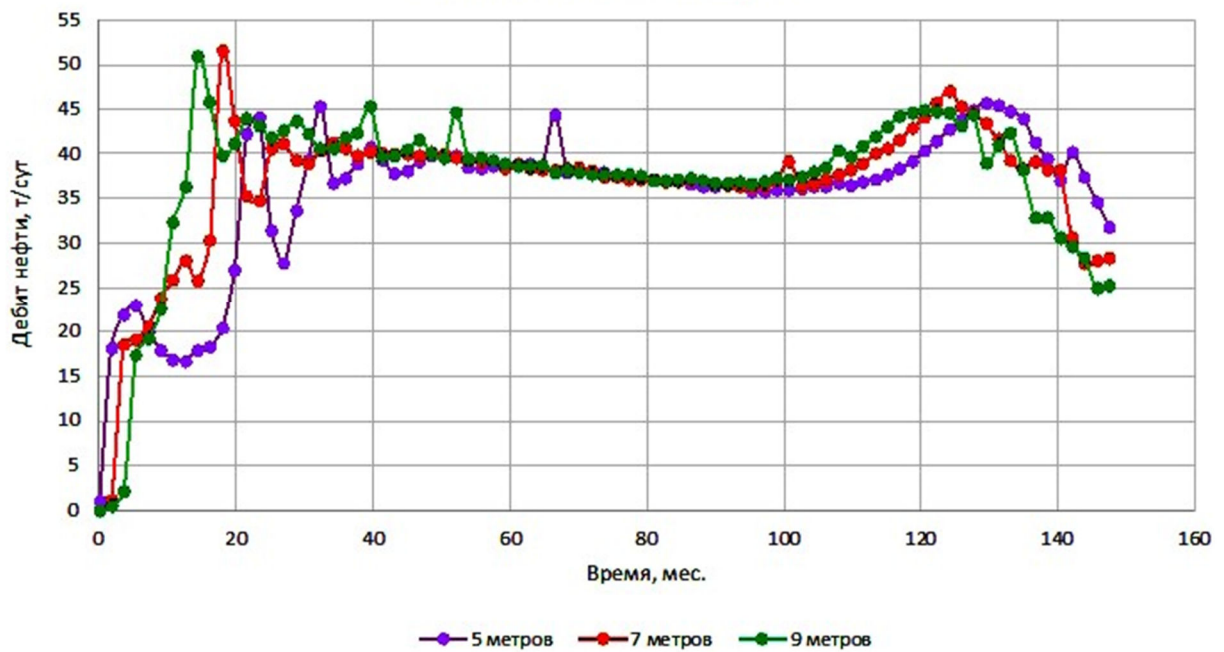


Рисунок 13 – Динамика добычи нефти в зависимости от длины горизонтального участка пары скважин

Динамика добычи нефти

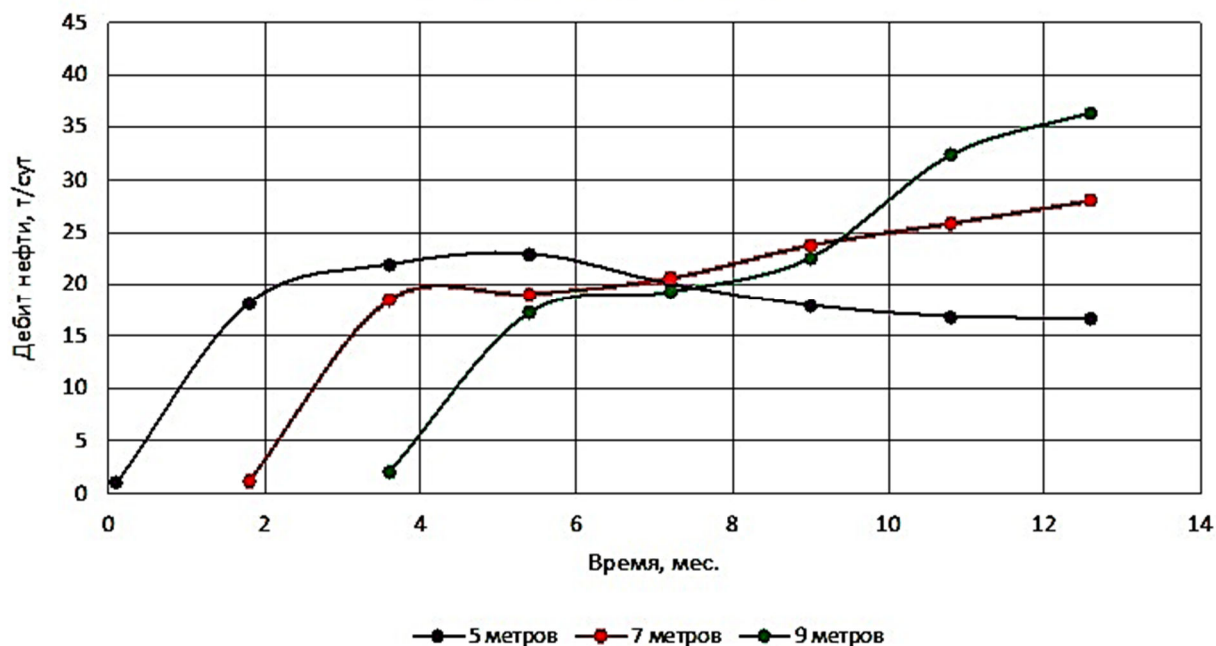


Рисунок 14 – Динамика добычи нефти в зависимости от длины горизонтального участка пары скважин (укрупнение начального этапа добычи)

Следует отметить, что данный параметр (как и предыдущие) оптимизировался без задания стадии предпрогрева, что напрямую сказывается на более быстром начале добычи, поэтому выбор расстояния между скважинами, должен включать в себя и анализ длительности стадии предпрогрева: прогрев большей зоны между скважинами до необходимой температуры и подвижности нефти требует больше времени, а значит и больший затрат ресурсов. Кроме того, меньшее значение расстояния между скважинами ограничивает максимально возможный темп закачки пара, поскольку при превышении некоторого его значения, практически сразу произойдет прорыв пара в добывающую скважину. В связи с этим, возрастает и сложность контроля режимов работы скважин.

Список литературы

1. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложнопостроенных месторождениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Г.Г. Гилаев; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004. – 64 с.
2. Начало новых событий в освоении месторождений высоковязких нефтей и природных битумов в России / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 6. – С. 6–9.

3. Развитие технологий увеличения нефтеотдачи пластов / Г.Г. Ги-лаев [и др.] // 3-я международная конференция «Освоение и добыча трудно-извлекаемых и высоковязких нефтей». – Анапа, 2002. – С. 6–17.

4. Ги-лаев Г.Г. Повышение эффективности выработки трудноизвле-каемых запасов на сложнопостроенных нефтегазовых месторождениях // Советская Кубань. – 2003. – № 5.

5. Деева В.С. Компьютерное моделирование в нефтегазовом деле : учеб. пособие / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 86 с.

List of references

1. Gilaeв G.G. Development of the theory and practice of production of hard-to-recover hydrocarbon reserves in complex fields : Ph.D. dis. Dr. tech. Sciences / Tyumen State Oil and Gas University. – Tyumen, 2004. – 64 p.

2. The beginning of new events in the development of deposits of high-viscosity oils and natural bitumens in Russia / G.G. Gilaeв [and others] // Oil industry. – 2011. – № 6. – P. 6–9.

3. Gilaeв G.G. Development of technologies for enhanced oil recovery / G.G. Gilaeв [et al.] // 3rd international conference «Development and production of hard-to-recover and high-viscosity oils». – Anapa, 2002. – P. 6–17.

4. Gilaeв G.G. Improving the efficiency of developing hard-to-recover reserves in complex oil and gas fields. Soviet Kuban. – 2003. – № 5.

5. Deeva V.S. Computer modeling in the oil and gas business : textbook / Tomsk Polytechnic University. – Tomsk : Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2018. – 86 p.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ АПЕРИОДИЧНОСТИ
ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА**

**DETERMINATION OF APERIODICITY CONDITIONS
TRANSIENT CHARACTERISTICS THIRD ORDER SYSTEMS**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный технологический университет

Асланян Ярослав Вадимович

студент,
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Аперiodические переходные характеристики системы возможны при действительных корнях характеристического уравнения. Определены условия, при которых характеристическое уравнение системы третьего порядка имеет: три кратных корня; два кратных корня; три разных действительных корня. Представлена область для коэффициентов характеристического уравнения системы третьего порядка, в которой переходные характеристики имеют аперiodический вид.

Ключевые слова: система третьего порядка; область для коэффициентов характеристического уравнения системы третьего порядка; аперiodическая переходная характеристика системы.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Murlin Alexey Georgeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Aslanyan Yaroslav Vadimovich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. Aperiodic transient characteristics of the system are possible with real roots of the characteristic equation. Conditions are determined under which the characteristic equation of a third-order system has: three multiple roots; two multiple roots; three different real roots. The region for the coefficients of the characteristic equation of the third-order system is presented, in which the transient characteristics have an aperiodic form.

Keywords: third order system; area for the coefficients of the characteristic equation of the third-order system; aperiodic transient response of the system.

Передаточная функция системы третьего порядка имеет вид:

$$W_{30}(p) = \frac{1}{B_3 p^3 + B_2 p^2 + B_1 p + 1},$$

где $B_1 \div B_3$ – коэффициенты характеристического уравнения;
 p – преобразователь Лапласа.

В 1876 году И.А. Вышнеградский представил передаточную функцию системы третьего порядка в виде:

$$W_{30}(s) = \frac{1}{s^3 + As^2 + Bs + 1},$$

где $A = B_2 \cdot B_3^{-\frac{2}{3}}$; $B = B_1 \cdot B_3^{-\frac{1}{3}}$; $s = B_3^{\frac{1}{3}} p$.

В плоскости (А, В) он выделил область аperiodичности. Пользоваться диаграммой И.А. Вышнеградского при анализе и синтезе реальных систем затруднительно из-за сложных зависимостей для коэффициентов А и В.

В работах [1, 2] выполнен анализ характеристического уравнения для конкретной электромеханической системы.

В данной работе предлагается определить условия апериодичности переходных характеристик систем третьего порядка в общем виде.

Система третьего порядка с тремя кратными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{30}(p) = \frac{1}{(\frac{1}{3}Tp+1)^3} = \frac{1}{\frac{1}{27}T^3p^3 + \frac{1}{3}T^2p^2 + Tp + 1},$$

где $B_1 = T; B_2 = \frac{1}{3}T^2; B_3 = \frac{1}{27}T^3.$

Система третьего порядка с двумя кратными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{30}(p) = \frac{1}{(T_1p+1)^2 \cdot (T_2p+1)} = \frac{1}{T_1^2T_2p^3 + (T_1^2 + 2T_1T_2) \cdot p^2 + (2T_1 + T_2) \cdot p + 1}.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} B_3 = T_1^2T_2; \\ B_2 = T_1^2 + 2T_1T_2; \\ B_1 = 2T_1 + T_2. \end{cases}$$

Если $B_1 = T$, то $T_2 = T - 2T_1.$

Для постоянной времени T_1 справедливо уравнение:

$$T_1^2 - \frac{2}{3}TT_1 + \frac{1}{3}B_2 = 0.$$

Из полученного уравнения следует:

$$T_1 = \frac{1}{3}T \pm \sqrt{\frac{1}{9}T^2 - \frac{1}{3}B_2}; \quad B_2 \leq \frac{1}{3}T^2.$$

В таблице 1 представлены результаты численного эксперимента.

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

$\frac{B_2}{T^2}$	$\frac{T_1}{T}$	$\frac{T_2}{T}$	$\frac{B_3}{T^3}$
1	2	3	4
$\frac{1}{3}$	0,3333333333	0,3333333333	0,037037037
0,3	0,438742589	0,122514823	0,023583498
	0,227924078	0,544151844	0,02826835

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
0,25	0,5	0	0
	0,166666667	0,666666667	0,01851852
0,2	0,122514823	0,754970355	0,01133202
0,15	0,086126717	0,827746566	0,00614007
0,1	0,054446658	0,891106684	0,00264163
0,05	0,026015185	0,947969630	0,00064158
0	0	1	0

На основании результатов численного эксперимента на рисунке 1 представлена область аperiodических переходных характеристик системы третьего порядка.

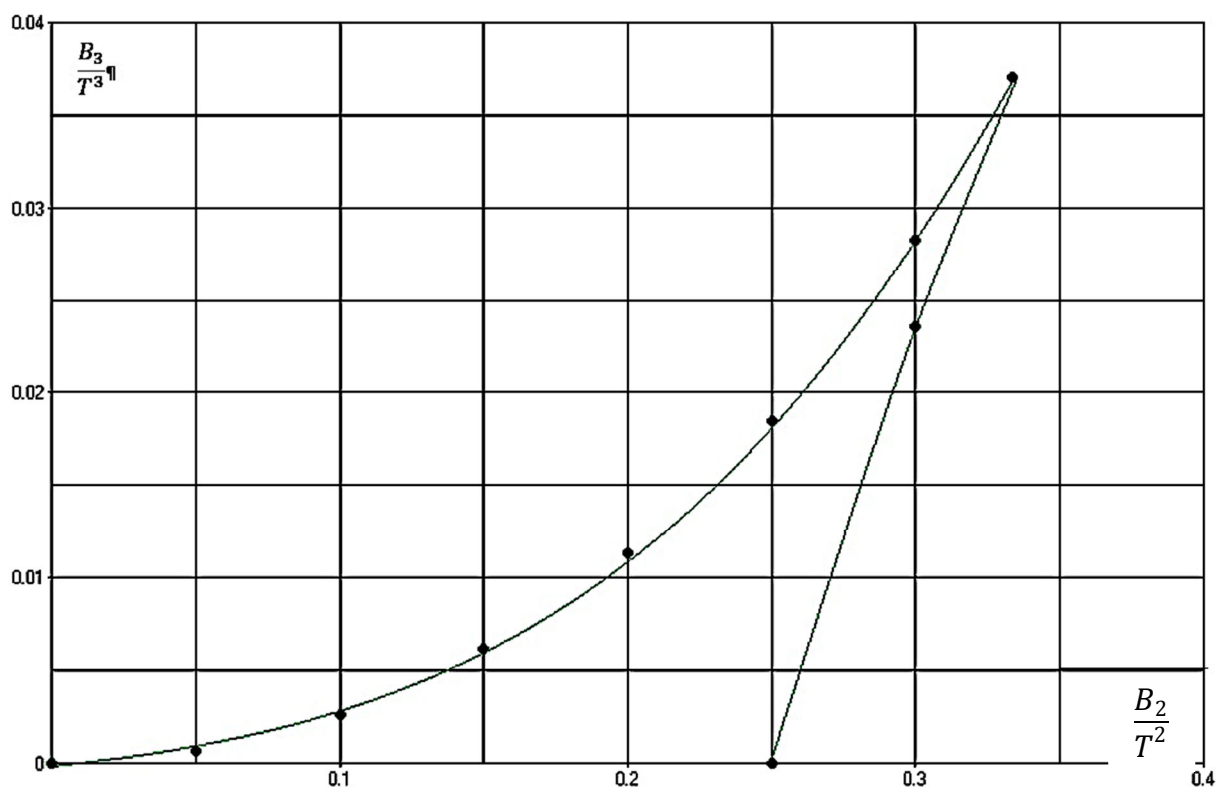


Рисунок 1

Выводы

Результаты полученных исследований позволяют осуществлять анализ и синтез реальных систем без существенных затруднений, так как зависимости для коэффициентов характеристического уравнения не являются сложными.

Список литературы

1. Добробаба Ю.П. Анализ переходных характеристик системы третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями ха-

рактистического уравнения / Ю.П. Добробаба, А.Г. Мурлин, Г.В. Щелканов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 274–280.

2. Добробаба Ю.П. Анализ характеристического уравнения двухмассовой упругой электромеханической системы без учёта влияния индуктивности якорной цепи двигателя / Ю.П. Добробаба, Л.Э. Енокян, Д.А. Асланова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 382–387.

List of references

1. Dobrobaba Yu.P. Analysis of the transient characteristics of a third-order system with real negative different roots of the characteristic equation / Yu.P. Dobrobaba, A.G. Murlin, G.V. Shchelkanov // The science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2019. – № 3. – P. 274–280.

2. Dobrobaba Yu.P. Analysis of the characteristic equation of a two-mass elastic electromechanical system without taking into account the influence of the inductance of the motor armature circuit / Yu.P. Dobrobaba, L.E. Enokyan, D.A. Aslanova // The science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2020. – № 1. – P. 382–387.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ АПЕРИОДИЧНОСТИ
ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СИСТЕМ ЧЕТВЁРТОГО ПОРЯДКА**

**DETERMINATION OF APERIODICITY CONDITIONS
TRANSIENT CHARACTERISTICS
FOURTH ORDER SYSTEMS**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный технологический университет

Асланян Ярослав Вадимович

студент,
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Определены условия, при которых характеристическое уравнение системы четвёртого порядка имеет: четыре кратных корня; пару кратных корней и два разных действительных корня. Определены области апериодических переходных характеристик при различных соотношениях коэффициентов характеристического уравнения системы.

Ключевые слова: система четвёртого порядка; область для коэффициентов характеристического уравнения системы четвёртого порядка; переходная характеристика системы.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Murlin Alexey Georgeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Aslanyan Yaroslav Vadimovich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. Conditions are determined under which the characteristic equation of a fourth-order system has: four multiple roots; a pair of multiple roots and two different real roots. The areas of aperiodic transient responses are determined for various ratios of the coefficients of the characteristic equation of the system.

Keywords: fourth order system; area for the coefficients of the characteristic equation of the fourth-order system; transient response of the system.

В статье [1] определены области существования для девяти видов переходных характеристик двухмассовой упругой электромеханической системы. В статьях [2 ÷ 4] анализируются аperiodические переходные характеристики для системы четвёртого порядка, но не определены условия, при которых они существуют.

В данной работе предлагается определить условия аperiodичности переходных характеристик систем четвёртого порядка в общем виде.

Передаточная функция системы четвёртого порядка имеет вид:

$$W_{40}(p) = \frac{1}{B_4 p^4 + B_3 p^3 + B_2 p^2 + B_1 p + 1},$$

где $B_1 \div B_4$ – коэффициенты характеристического уравнения системы; p – преобразователь Лапласа.

Передаточная функция системы четвёртого порядка с четырьмя кратными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{40}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^4} = \frac{1}{T_1^4 p^4 + 4T_1^3 p^3 + 6T_1^2 p^2 + 4T_1 p + 1}.$$

При этом справедлив система уравнений:

$$\begin{cases} B_4 = T_1^4; \\ B_3 = 4T_1^3; \\ B_2 = 6T_1^2; \\ B_1 = 4T_1. \end{cases}$$

Если $B_1 = T$, то:

$$T_1 = \frac{1}{4}T; B_2 = \frac{3}{8}T^2; B_3 = \frac{1}{16}T^3; B_4 = \frac{1}{256}T^4.$$

На рисунке 1 представлена точка с координатами 0,0625 и 0,00390625. Только в этой точке при $B_2 = 0,375T^2$ система имеет апериодические переходные характеристики.

$$B_2 = 0,36T^2$$

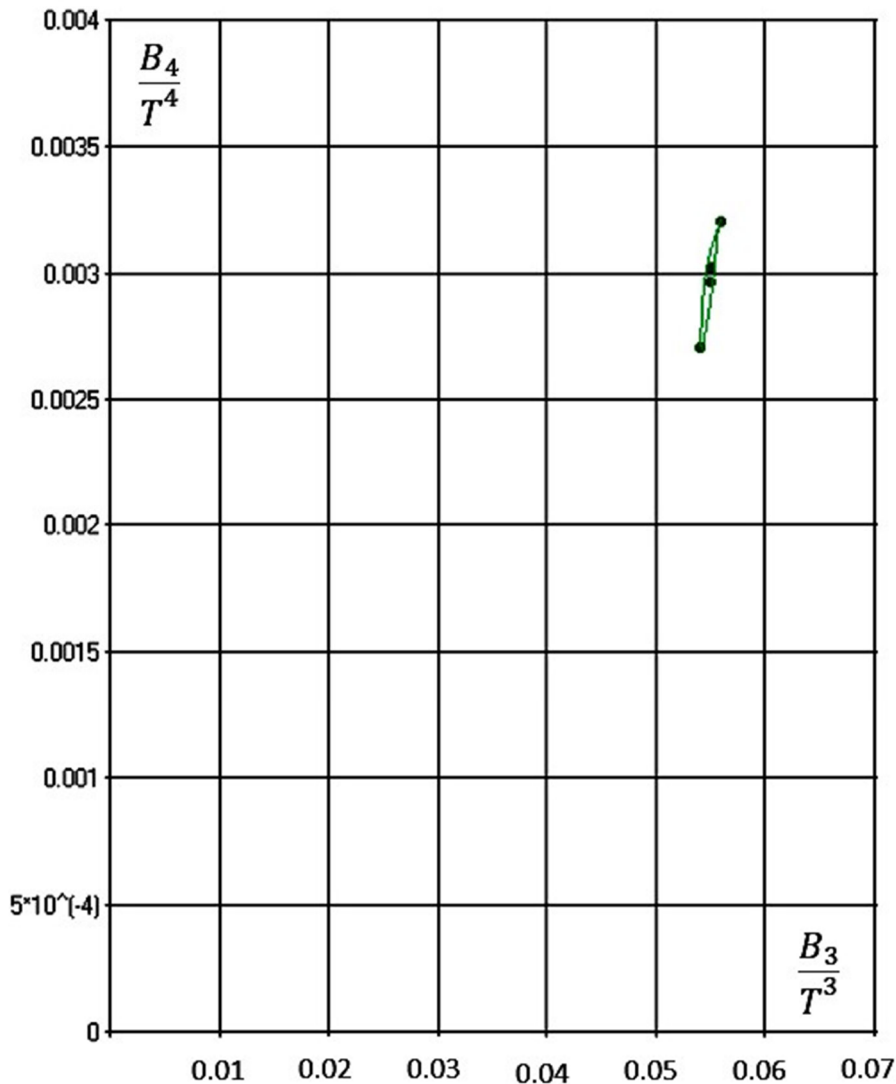


Рисунок 1

Передаточная функция системы четвёртого порядка с тремя кратными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{40}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^3 \cdot (T_2 p + 1)} = \frac{1}{T_1^3 T_2 p^4 + (T_1^3 + 3T_1^2 T_2) \cdot p^3 + (3T_1^2 + 3T_1 T_2) \cdot p^2 + (3T_1 + T_2) \cdot p + 1}.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} B_4 = T_1^3 T_2; \\ B_3 = T_1^3 + 3T_1^2 T_2; \\ B_2 = 3T_1^2 + 3T_1 T_2; \\ B_1 = 3T_1 + T_2. \end{cases}$$

Если $B_1 = T$, то $T_2 = T - 3T_1$.

Дано: B_2 .

$$B_2 = 3T_1^2 + 3TT_1 - 9T_1^2;$$

$$6T_1^2 - 3TT_1 + B_2 = 0; T_1^2 - \frac{1}{2}TT_1 + \frac{1}{6}B_2 = 0.$$

Из полученного уравнения следует:

$$T_1 = \frac{1}{4}T \pm \sqrt{\frac{1}{16}T^2 - \frac{1}{6}B_2}. B_2 \leq \frac{3}{8}T^2.$$

В таблице 1 представлены результаты первого численного эксперимента.

Таблица 1 – результаты первого численного эксперимента

$\frac{B_2}{T^2}$	$\frac{T_1}{T}$	$\frac{T_2}{T}$	$\frac{B_3}{T^3}$	$\frac{B_4}{T^4}$
0,375	0,25	0,25	0,0625	0,003906250
0,37	0,278867513	0,163397460	0,059807550	0,003543554
	0,221132487	0,336602540	0,060192450	0,003639779
0,36	0,3	0,1	0,054	0,0027
	0,2	0,4	0,056	0,0032
0,35	0,314549722	0,056350833	0,047848343	0,001753752
	0,185450278	0,443649167	0,052151657	0,002829581
0,34	0,326376262	0,020871215	0,041435774	0,000725610
	0,173623738	0,479128785	0,048564226	0,002507723
$\frac{1}{3}$	0,333333333	0	0,037037037	0
	0,166666667	0,5	0,046296296	0,002314815
0,3	0,138196601	0,585410197	0,036180340	0,001545085
0,25	0,105662433	0,683012702	0,024056261	0,000805732
0,2	0,079217487	0,762347538	0,014849253	0,000378980
0,15	0,056350833	0,830947502	0,008094750	0,000148688
0,1	0,035912790	0,892261629	0,003498644	0,000041328
0,005	0,017262666	0,948212002	0,000852845	0,000004878
0	0	1	0	0

Передаточная функция системы четвёртого порядка с двумя парами кратных корней характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{40}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^2 \cdot (T_2 p + 1)^2} =$$

$$= \frac{1}{T_1^2 T_2^2 p^4 + (2T_1^2 T_2 + 2T_1 T_2^2) \cdot p^3 + (T_1^2 + 4T_1 T_2 + T_2^2) \cdot p^2 + (2T_1 + 2T_2) \cdot p + 1}.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} B_4 = T_1^2 T_2^2; \\ B_3 = 2T_1^2 T_2 + 2T_1 T_2^2; \\ B_2 = T_1^2 + 4T_1 T_2 + T_2^2; \\ B_1 = 2T_1 + 2T_2. \end{cases}$$

Если $B_1 = T$, то $(T_1 + T_2) = \frac{1}{2}T$.

Дано: B_2 .

$$B_2 = (T_1 + T_2)^2 + 2T_1 T_2; \quad B_2 = \frac{1}{4}T^2 + 2T_1 T_2; \quad T_1 T_2 = \frac{1}{2}B_2 - \frac{1}{8}T^2.$$

$$T_2 = \frac{1}{2}T - T_1; \quad T_1^2 - \frac{1}{2}TT_1 + \frac{1}{2}B_2 - \frac{1}{8}T^2 = 0.$$

Из полученного уравнения следует:

$$T_1 = \frac{1}{4}T \pm \sqrt{\frac{1}{16}T^2 - \frac{1}{2}B_2 + \frac{1}{8}T^2};$$

$$T_1 = \frac{1}{4}T \pm \sqrt{\frac{3}{16}T^2 - \frac{1}{2}B_2}. \quad B_2 \leq \frac{3}{8}T^2.$$

В таблице 2 представлены результаты второго численного эксперимента.

Таблица 2 – результаты второго численного эксперимента

$\frac{B_2}{T^2}$	$\frac{T_1}{T}$	$\frac{T_2}{T}$	$\frac{B_3}{T^3}$	$\frac{B_4}{T^4}$
0,375	0,25	0,25	0,0625	0,003906250
0,37	0,3	0,2	0,06	0,0036
0,36	0,336602540	0,163397460	0,055	0,00296875
0,35	0,361803399	0,138196601	0,05	0,0025
0,34	0,382287566	0,117712434	0,045	0,002025
$\frac{1}{3}$	0,394337567	0,105662433	0,041666667	0,001736111
0,3	0,443649167	0,056350833	0,025	0,000625
0,25	0,5	0	0	0

Передаточная функция системы четвёртого порядка с двумя кратными корнями и с двумя разными действительными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$\begin{aligned}
W_{40}(p) &= \frac{1}{(T_1 p + 1)^2 \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1)} = \\
&= \frac{1}{T_1^2 \cdot T_2 T_3 p^4 + [T_1^2 \cdot (T_2 + T_3) + 2T_1 \cdot T_2 T_3] \cdot p^3 + \\
&\quad \frac{1}{[T_1^2 + 2T_1 \cdot (T_2 + T_3) + T_2 T_3] \cdot p^2 + [2T_1 + (T_2 + T_3)] \cdot p + 1}.
\end{aligned}$$

При этом справедлива система уравнений:

$$\begin{cases}
B_4 = T_1^2 \cdot T_2 T_3; \\
B_3 = T_1^2 \cdot (T_2 + T_3) + 2T_1 \cdot T_2 T_3; \\
B_2 = T_1^2 + 2T_1 \cdot (T_2 + T_3) + T_2 T_3; \\
B_1 = 2T_1 + (T_2 + T_3).
\end{cases}$$

Если $B_1 = T$, то

$$(T_2 + T_3) = B_1 - 2 \cdot T_1; \quad (T_2 + T_3) = T - 2 \cdot T_1.$$

Дано: B_2 и B_3 .

$$B_2 = T_1^2 + 2TT_1 - 4T_1^2 + T_2 T_3; \quad T_2 T_3 = 3T_1^2 - 2TT_1 + B_2.$$

$$B_3 = TT_1^2 - 2T_1^3 + 6T_1^3 - 4TT_1^2 + 2B_2 TT_1;$$

$$4T_1^3 - 3TT_1^2 + 2B_2 T_1 - B_3 = 0;$$

$$T_1^3 - \frac{3}{4} TT_1^2 + \frac{1}{2} B_2 T_1 - \frac{1}{4} B_3 = 0.$$

Выполним третий численный эксперимент.

1. Четыре кратных корня.

Если $B_2 = 0,375T^2$ и $B_3 = 0,0625T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,1875T^2 T_1 - 0,015625T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,25T)^3 = 0.$$

$$B_4 = 0,00390625T^4.$$

$$0,00390625T^4 p^4 + 0,0625T^3 p^3 + 0,375T^2 p^2 + Tp + 1 = 0. \quad T = 4T_1.$$

$$T_1^4 p^4 + 4T_1^3 p^3 + 6T_1^2 p^2 + 4T_1 p + 1 = 0; \quad (T_1 p + 1)^4 = 0.$$

2. Три кратных корня.

Если $B_2 = 0,36T^2$ и $B_3 = 0,054T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,18T^2 T_1 - 0,0135T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,3T)^2 \cdot (T_1 - 0,15T) = 0.$$

$$T_1 = 0,3T; \quad (T_2 + T_3) = 0,4T; \quad T_2 T_3 = 0,03T^2;$$

$$T_2 = 0,3T; \quad T_3 = 0,1T.$$

$$B_4 = 0,0027T^4.$$

$$0,0027T^4 p^4 + 0,054T^3 p^3 + 0,36T^2 p^2 + Tp + 1 = 0.$$

3. Три кратных корня.

Если $B_2 = 0,36T^2$ и $B_3 = 0,056T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,18T^2T_1 - 0,014T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,2T)^2 \cdot (T_1 - 0,35T) = 0.$$

$$T_1 = 0,2T; (T_2 + T_3) = 0,6T;$$

$$T_2T_3 = 0,08T^2; T_2 = 0,4T; T_3 = 0,2T.$$

$$B_4 = 0,0032T^4.$$

$$0,0032T^4p^4 + 0,056T^3p^3 + 0,36T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

4. Две пары кратных корней.

Если $B_2 = 0,36T^2$ и $B_3 = 0,055T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,18T^2T_1 - 0,01375T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,33660254T) \cdot (T_1 - 0,25T) \cdot (T_1 - 0,16339746T) = 0.$$

Вариант 1.

$$T_1 = 0,33660254T; (T_2 + T_3) = 0,32679492T;$$

$$T_2T_3 = 0,026698729T^2; T_2 = T_3 = 0,16339746T.$$

$$B_4 = 0,003025T^4.$$

$$0,003025T^4p^4 + 0,055T^3p^3 + 0,36T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

Вариант 2.

$$T_1 = 0,25T; (T_2 + T_3) = 0,5T;$$

$$T_2T_3 = 0,0475T^2; T_2 = 0,372474487T; T_3 = 0,127525513T.$$

$$B_4 = 0,00296875T^4.$$

$$0,00296875T^4p^4 + 0,055T^3p^3 + 0,36T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

На рисунке 2 по результатам третьего численного эксперимента представлена область апериодических переходных характеристик для системы четвертого порядка.

Выполним четвертый численный эксперимент.

Если $T_3 = 0$, то

$$\left\{ \begin{array}{l} B_4 = 0; \\ B_3 = T_1^2T_2; \\ B_2 = T_1^2 + 2T_1T_2; \\ B_1 = 2T_1 + T_2. \\ B_1 = T. B_2 = 0,3T^2. \end{array} \right.$$

$$T_2 = T - 2T_1; 0,3T^2 = T_1^2 + 2TT_1 + 4T_1^2;$$

$$T_1^2 - \frac{2}{3}TT_1 + 0,1T^2 = 0.$$

$$B_2 = 0,36T^2$$

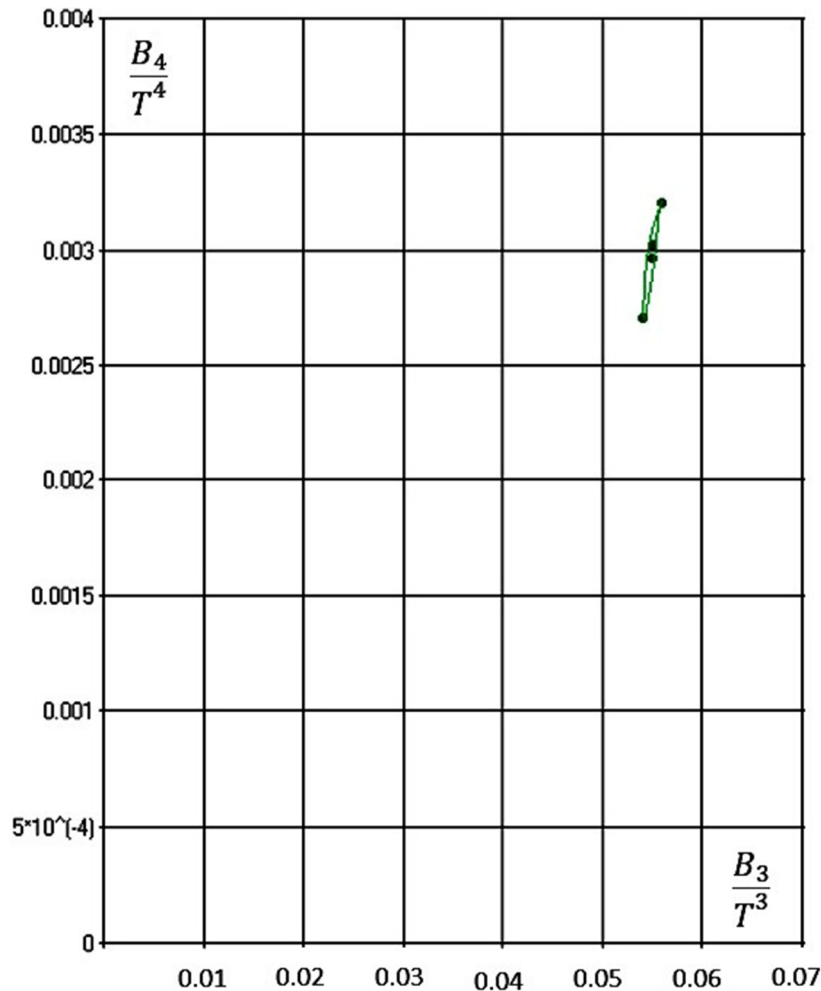


Рисунок 2

Вариант 1.

$$T_1 = 0,438742588T; T_1 = 0,227924078T;$$

$$T_2 = 0,122514823T; T_2 = 0,544151844T;$$

$$B_3 = 0,023583498T^3. B_3 = 0,028268353T^3.$$

1. Три кратных корня

Если $B_2 = 0,3T^2$ и $B_3 = 0,036180339T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,15T^2T_1 - 0,009045085T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,138196602T)^2 \cdot (T_1 - 0,473606795T) = 0.$$

$$T_1 = 0,138196602T; (T_2 + T_3) = 0,723606796T;$$

$$T_2T_3 = 0,080901698T^2; T_2 = 0,585410197T;$$

$$T_3 = 0,138196602T.$$

$$B_4 = 0,001545085T^4.$$

$$0,001545085T^4p^4 + 0,036180339T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

2. Две пары кратных корней

Если $B_2 = 0,3T^2$ и $B_3 = 0,025T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,15T^2T_1 - 0,00625T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,443649167T) \cdot (T_1 - 0,25T) \cdot (T_1 - 0,056350833T) = 0.$$

$$T_1 = 0,443649167T; (T_2 + T_3) = 0,11270166T;$$

$$T_2T_3 = 0,003175416T^2; T_2 = T_3 = 0,056350833T.$$

$$B_4 = 0,000625T^4.$$

$$0,000625T^4p^4 + 0,025T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

Если $B_2 = 0,3T^2$ и $B_3 = 0,034T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,15T^2T_1 - 0,0085T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,468614066T) \cdot (T_1 - 0,1T) \cdot (T_1 - 0,181385934T) = 0.$$

Вариант 1.

$$T_1 = 0,1T; (T_2 + T_3) = 0,8T;$$

$$T_2T_3 = 0,13T^2; T_2 = 0,57320508T; T_3 = 0,22679492T.$$

$$B_4 = 0,0013T^4.$$

$$0,0013T^4p^4 + 0,034T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

Вариант 2.

$$T_1 = 0,181385934T; (T_2 + T_3) = 0,637228132T;$$

$$T_2T_3 = 0,035930703T^2; T_2 = 0,574708228T;$$

$$T_3 = 0,062519904T.$$

$$B_4 = 0,001182151T^4.$$

$$0,001182151T^4p^4 + 0,034T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

Если $B_2 = 0,3T^2$ и $B_3 = 0,032T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,15T^2T_1 - 0,008T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,46374586T) \cdot (T_1 - 0,2T) \cdot (T_1 - 0,08625414T) = 0.$$

Вариант 1.

$$T_1 = 0,08625414T; (T_2 + T_3) = 0,82749172T;$$

$$T_2T_3 = 0,14981105T^2; T_2 = 0,559946361T;$$

$$T_3 = 0,267545359T.$$

$$B_4 = 0,001114561T^4.$$

$$0,001114561T^4p^4 + 0,032T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

Вариант 2.

$$T_1 = 0,2T; (T_2 + T_3) = 0,6T;$$

$$T_2T_3 = 0,02T^2; T_2 = 0,564575131T; T_3 = 0,035424869T.$$

$$B_4 = 0,0008T^4.$$

$$0,0008T^4p^4 + 0,032T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

Если $B_2 = 0,3T^2$ и $B_3 = 0,03T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,15T^2T_1 - 0,0075T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,458551491T) \times (T_1 - 0,215579149T) \times \\ \times (T_1 - 0,07586936T) = 0.$$

Вариант 1.

$$T_1 = 0,07586936T; (T_2 + T_3) = 0,84826128T;$$

$$T_2T_3 = 0,165529759T^2; T_2 = 0,543951509T;$$

$$T_3 = 0,304309771T.$$

$$B_4 = 0,000952816T^4.$$

$$0,000952816T^4p^4 + 0,03T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

Вариант 2.

$$T_1 = 0,215579149T; (T_2 + T_3) = 0,568841702T;$$

$$T_2T_3 = 0,00826481T^2; T_2 = 0,553921148T;$$

$$T_3 = 0,014920554T.$$

$$B_4 = 0,000384102T^4.$$

$$0,000384102T^4p^4 + 0,03T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

Если $B_2 = 0,3T^2$ и $B_3 = 0,024T^3$, то

$$T_1^3 - 0,75TT_1^2 + 0,15T^2T_1 - 0,006T^3 = 0.$$

$$(T_1 - 0,44022558T) \times (T_1 - 0,25667459T) \times \\ \times (T_1 - 0,05309983T) = 0.$$

$$T_1 = 0,44022558T; (T_2 + T_3) = 0,11954884T;$$

$$T_2T_3 = 0,000944523T^2; T_2 = 0,111042912T;$$

$$T_3 = 0,008505928T.$$

$$B_4 = 0,000183047T^4.$$

$$0,000183047T^4p^4 + 0,024T^3p^3 + 0,3T^2p^2 + Tp + 1 = 0.$$

На рисунке 3 по результатам четвёртого численного эксперимента представлена область аperiodических переходных характеристик для системы четвёртого порядка.

$$B_2 = 0,3T^2$$

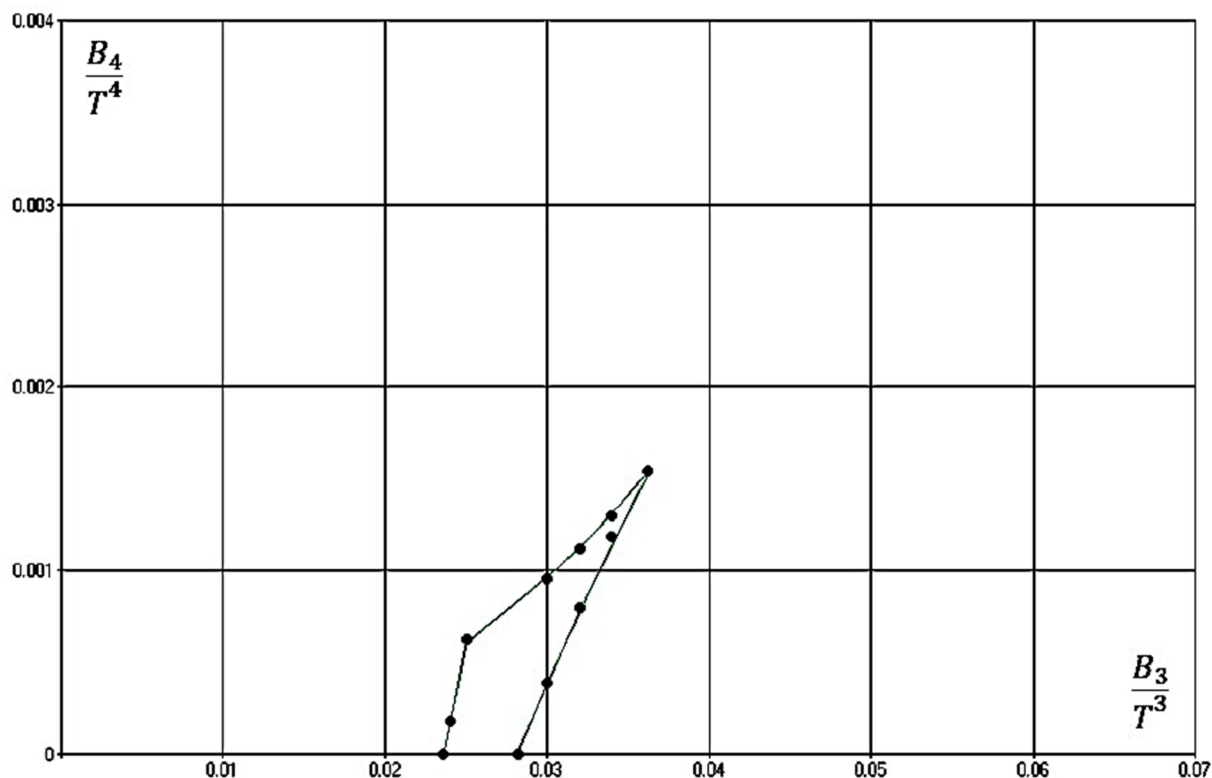


Рисунок 3

Выводы

Таким образом, разработан алгоритм, позволяющий определять условия аperiodичности переходных характеристик систем четвёртого порядка.

Список литературы

1. Добробаба Ю.П. Определение областей существования девяти видов переходных характеристик двухмассовой упругой электромеханической система / Ю.П. Добробаба, Р.В. Ульрих // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 438–442.

2. Добробаба Ю.П. Анализ переходных характеристик системы четвёртого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения / Ю.П. Добробаба, А.Г. Мурлин, Г.В. Щелканов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 218–287.

3. Добробаба Ю.П. Анализ переходных характеристик системы четвёртого порядка с двумя парами кратных корней характеристического уравнения / Ю.П. Добробаба, В.А. Мурлина, Г.В. Щелканов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 414–420.

4. Добробаба Ю.П. Анализ переходных характеристик системы четвёртого порядка с тремя кратными корнями характеристического уравнения / Ю.П. Добробаба, В.А. Мурлина, Г.В. Щелканов // Наука. Техника. Технологии (политехнический). – 2020. – № 1. – С. 421–430.

List of references

1. Dobrobaba Yu.P. Determination of areas of existence of nine types of transient characteristics of a two-mass elastic electromechanical system / Yu.P. Dobrobaba, R.V. Ulrich // Science. Technique. Technologies (polytechnic journal). – 2019. – № 1. – P. 438–442.

2. Dobrobaba Yu.P. Analysis of the transient characteristics of a fourth-order system with real negative different roots of the characteristic equation / Yu.P. Dobrobaba, A.G. Murlin, G.V. Shchelkanov // Science. Technique. Technologies (polytechnic journal). – 2019. – № 3. – P. 218–287.

3. Dobrobaba Yu.P. Analysis of the transient characteristics of a fourth-order system with two pairs of multiple roots of the characteristic equation / Yu.P. Dobrobaba, V.A. Murlina, G.V. Shchelkanov // Science. Technique. Technologies (polytechnical journal). – 2020. – № 1. – P. 414–420.

4. Dobrobaba Yu.P. Analysis of the transient characteristics of a fourth-order system with three multiple roots of the characteristic equation / Yu.P. Dobrobaba, V.A. Murlina, G.V. Schelkanov // Science. Technique. Technologies (polytechnic journal). – 2020. – № 1. – P. 421–430.

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ЗА ПОВЫШЕНИЕМ
УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ДЕФОРМАЦИЯМИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ
НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ (АО «САМАРАНЕФТЕГАЗ»)**

**RESULTS OF MONITORING GROUNDWATER LEVEL
RISE AND DEFORMATIONS BUILDINGS AND
CONSTRUCTIONS ON THE EXAMPLE OF OIL AND GAS
PRODUCTION FACILITIES (JSC SAMARANEFTEGAZ)**

Евдокимов Е.А.

студент,
кафедра Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный технологический университет

Гиладев Г.Г.

профессор, кафедра Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный технологический университет

Ульянов С.С., Аржанов К.М., Попова А.В., Гиладев Ген. Г.

АО «Самаранефтегаз»,
Отдел геотехнического мониторинга

Аннотация. Результаты мониторинга за повышением уровня подземных вод и деформациями зданий и сооружений на примере объектов нефтегазодобычи (АО «САМАРАНЕФТЕГАЗ»).

Ключевые слова: Мониторинг, подземные воды, деформация, нефтяная и газовая промышленность.

Evdokimov E.A.

Doctor of Technical Sciences,
department of oil and gas business
named after Professor G.T. Vartumyan
Kuban State Technological University

Gilaev G.G.

Professor, department of oil and gas business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Kuban State Technological University

Ulyanov S.S., Arzhanov K.M., Popova A.V., Gilaev Gen. G.

JSC Samaraneftgaz,
Department of geotechnical monitoring

Annotation. The results of monitoring the rise in groundwater levels and deformations of buildings and structures on the example of oil and gas production facilities (JSC «SAMARANEFTEGAZ»).

Keywords: Monitoring, groundwater, deformation, oil and gas industry.

Нефтяная и газовая промышленности в Самарской области развивается с 1936 г., инфраструктура предприятия регулярно обновляется, но вместе с тем имеет большой парк зданий и сооружений, отработавших свой нормативный срок, эксплуатирующиеся на основании продленного ресурса, выданного специализированной организацией. За время эксплуатации зданий и сооружений инженерно-геологические условия, выданные при проектировании, имеют тенденции к изменениям, что напрямую может быть связано с деформацией фундамента и механической безопасностью самого здания или сооружения. На сегодняшний день вопрос управления механической безопасности зданий и сооружений является актуальным.

Отдел геотехнического мониторинга АО «Самаранефтегаз» проводит наблюдения за состоянием несущих конструкций зданий и сооружений объектов добычи и подготовки нефти и газа с целью разработки мероприятий по обеспечению их сохранности.

За время работы на некоторых объектах была отмечена тенденция к избыточному увлажнению конструкций (например, кладка стен и фундаменты зданий, скопление воды в подвальных помещениях), неравномерные осадки РВС, зданий насосных и операторных и т.д.

Причинами таких проявлений, по мнению специалистов отдела геотехнического мониторинга, может быть изменение водного баланса и гидрогеологической обстановки на территории

Самарской области, а также применение недостаточных гидроизоляционных мер, приведших к накоплению влаги в грунтах оснований и несущих конструкциях.

Рассматривая факторы влияющие на вышеуказанные причины изменения водного баланса, определяем один из наиболее стремительно меняющихся в последние годы – поднятие грунтовых вод.

Колебания уровня грунтовых вод иногда имеют весьма резко выраженный характер и достигают в течение года нескольких метров. Причины колебания уровня грунтовых вод очень разнообразны:

- основной причиной, кроме прочих атмосферных факторов: температурного, барического влияния, влияния упругости почвенных газов и сезонных явлений – является прежде всего увеличение количества осадок (рис. 1) [1].

- территория Самарской области подвержена затоплению и подтоплению паводковыми водами. Особенно это выражено в долинах рек Волга, Сок, Уса, Самара, Кондурча, Большой Кинель, Чагра, Чапаевка, Большой Иргиз. Участки переувлажнения особенно широко отмечены по долинам рек Сок, Кинель, Кондурча. Также по результатам анализа инженерно-геологических изысканий в различных районах области можно отметить частое образование «верховодки» [2];

- потенциальная опасность другого опасного геологического процесса – техногенное подтопления, существует на территориях, где размещены сооружения нефтедобычи, поскольку процессу нефтедобычи сопутствует технологическая закачка пластовых вод в продуктивные горизонты.

В текущих условия взаимосвязь между деформацией зданий и сооружений в разные периоды эксплуатации, увлажнением оснований и фундаментов строительных конструкций и повышением уровня подземных вод очевидна. Соответственно для поддержания безопасной эксплуатации конструкций необходимо установить постоянный контроль за фундаментом до момента стабилизации.

Для определения причин увлажнения конструкций зданий и сооружений и их последующей осадке предлагается применение ряда совокупных методов: гидрогеологического наблюдения за уровнем подземных вод, измерение осадок (вертикальные деформации) и метод георадиолокационного зондирования (георадар).

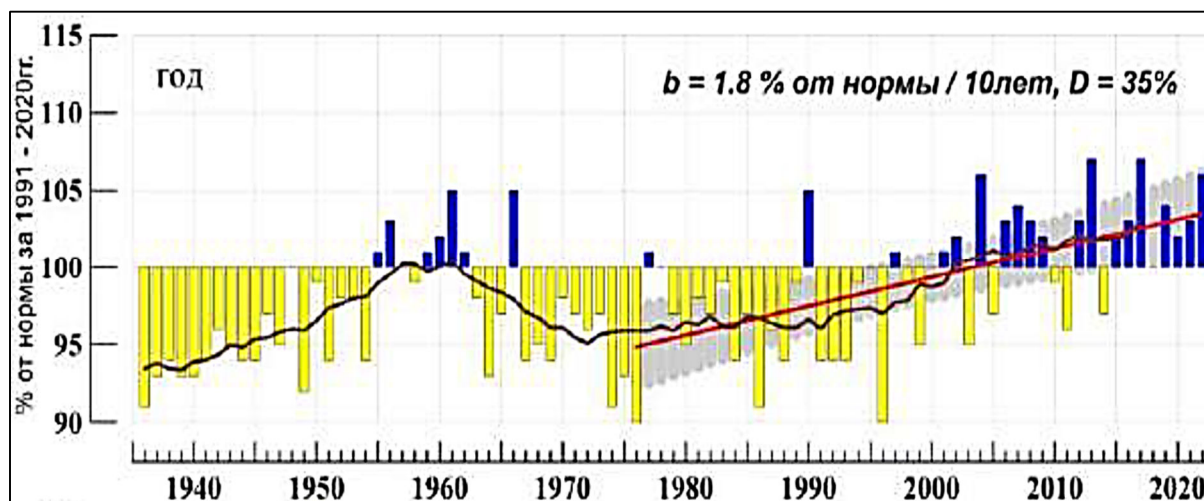


Рисунок 1 – Средние годовые осадки (% от нормы 1991–2020 гг.), осредненные по территории России, 1936–2022 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд оценен за 1976–2022 гг.:

b – коэффициент тренда (% от нормы / 10 лет),
 D – вклад тренда в суммарную дисперсию (%)

Справочно:

- метод гидрогеологического наблюдения за уровнем подземных вод – полевой метод включает проведение различных гидрогеологических исследований, для снятия показаний используется гидрогеологическая скважина;
- метод измерения осадков (вертикальные деформации) – полевой метод включает проведение геодезических измерений позволяющих определить и относительную, и абсолютную величину вертикальных и горизонтальных перемещений сооружений по отношению к неподвижным знакам (грунтовым реперам);
- метод георадиолокации – полевой метод, принцип действия аппаратуры подповерхностного радиолокационного зондирования (георадара) основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства (рис. 1, 2). Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами – уровень грунтовых вод, контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между мерзлыми и тальми грунтами, между коренными и осадочными породами и т.д. [3, 4]

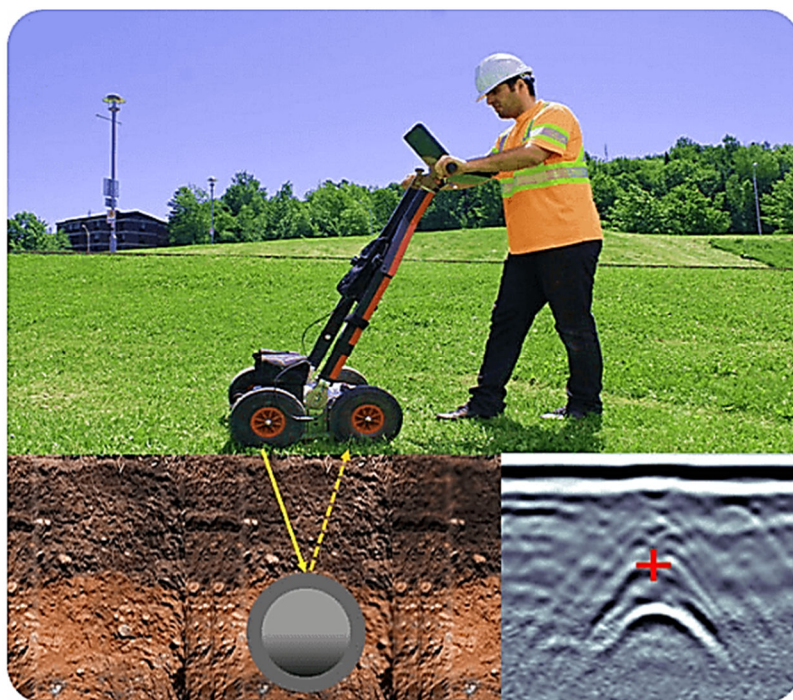


Рисунок 2 – Общий план работы с георадаром

Применительно к объектам АО «Самаранефтегаз»: учитывая отсутствие в геотехнической сети гидрогеологических скважин метод гидрогеологического наблюдения экономически нецелесообразен, ввиду значительных финансовых вложений (на проект и строительство скважин); метод измерения осадок может быть первопричиной для начала исследования данного здания или сооружения, после обнаружения замеренного показателя сверх допустимых параметров, но для работы с причинами вертикальных перемещений фундамента информации недостаточно; метод георадиолокации сканирует профиль грунтов, позволяет отслеживать динамику уровня грунтовых вод, особенности геологического строения, его изменяемость во взаимосвязи с гидрогеологическими условиями [5].

Очевидно, что наибольшую детализацию получаем после обследования георадаром. На сегодняшний день в Обществе планируется проведение опытных испытаний по использованию георадара, для этого были подобраны объекты с полным составом проектной документации в части инженерно-геологических исследований (карта с изолиниями рельефа, геологические сведения о строении разреза в виде колонок скважин, результаты шурфовки, геологические разрезы с гидрогеологической нагрузкой, сведения о проводимости и диэлектрической проницаемости

пород - для сравнения и подтверждения полученных результатов) и наличием определенных критериев по рискам (наличие на объекте просадки грунта, сложный геологический разрез, подтопление территории, выявлены и обозначены затруднения при ИГУ).

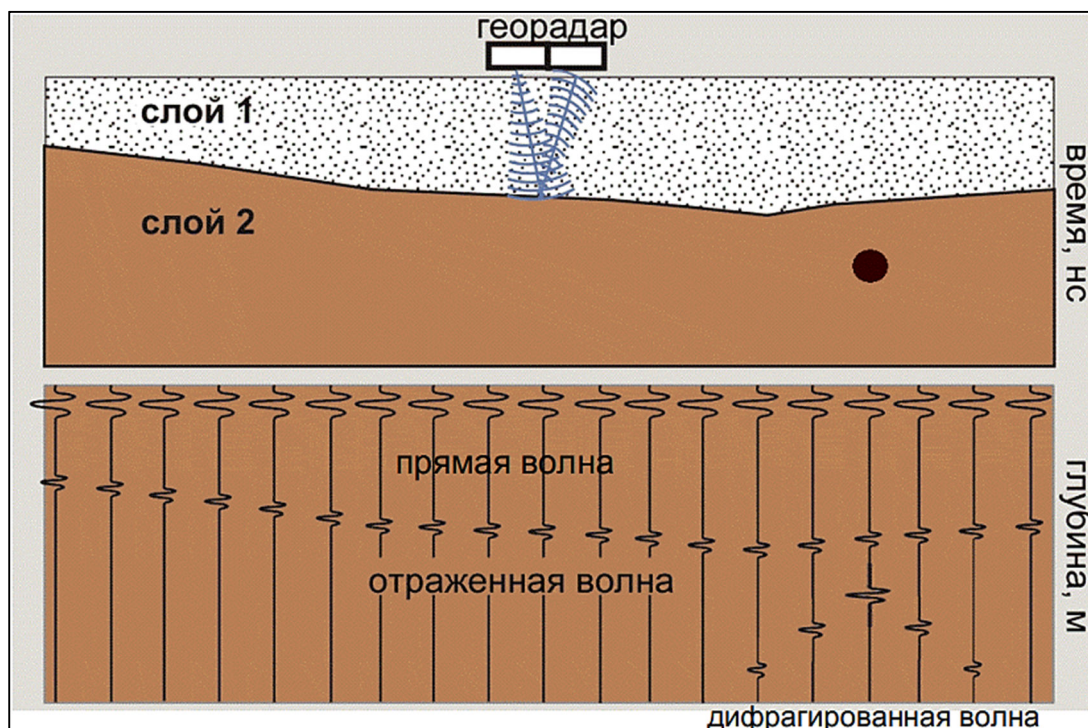


Рисунок 3 – Георадиолокационное зондирование

Следует обратить внимание на наличие положительного опыта георадарного зондирования для определения верхней границы многолетнемерзлых грунтов, что подтверждено российскими и зарубежными исследованиями. Также опыт специалистов указывает на отсутствие значительной разницы работы георадара на мерзлом грунте для определения мощности мерзлоты или талом грунте для определения уровня грунтовых вод.

Таким образом, обобщая приведённую информацию – получаемые данные георадиолокации позволят не только определять геологический профиль вблизи того или иного сооружения, но и отмечать зоны просадок грунта, его смещений и т.д. Позволят устанавливать зоны повышенного увлажнения, закономерности между изменением уровня грунтовых вод, влажностью грунтов и вероятностью ползучести и просадочности грунтов в непосредственной близости от эксплуатирующихся зданий и сооружений. Идентификация выявленных зон позволит разработать целевые контрмеры:

1. Восстановления способа защиты:

1.1 Мероприятия по защите от коррозии бетона и железобетона, в том числе от биоповреждений, выполняются на стадии эксплуатации и предусматриваются следующие мероприятия:

- меры для снижения влажности материала конструкции (снижение влажности среды, исключение конденсации влаги, обливов и капиллярного подсоса, установка специальных дренажей);
- восстановление антикоррозионной защиты;
- защита конструкций от увлажнения;
- систематическое наблюдение за состоянием конструкций.

1.2 Меры защиты от коррозии должны выбираться на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом прогнозируемого срока службы и расходов, включающих в себя расходы на возобновление вторичной защиты, текущий и капитальный ремонты и другие расходы [6].

2. Восстановление несущей способности основания:

- увеличение плотности грунта основания методами цементизация, битумизация, силикатизация;
- методами подведения свай под подошву различными способами [7].

Внедрение инструмента георадар поможет решить актуальные вопросы, возникающие при обнаружении деформаций фундамента:

- позволит определить влияние влажности грунтов на деформации зданий;
- детальное обследование территории возле сооружений с неравномерным и превышающими осадками позволит выявить особенности деформирования каждого здания и принять своевременные меры к устранению этих деформаций.

Современные методы оптимизируют затраты на проведение геотехнического мониторинга, делая работу продуктивнее и качественнее, не подвергая дополнительным рискам и ущербу производство, повышая механическую безопасность зданий и сооружений через проведение мероприятий с предупредительными ремонтами, что напрямую влияет на здоровье и сохранение жизни людей.

Список литературы

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. (РОСГИДРОМЕТ). – М., 2023.

2. Отчеты об инженерно-геологических изысканиях на объектах АО «Самаранефтегаз» за 2014–2022 гг. – ООО «Самра-НИИНефть».
3. Инструкция по эксплуатации Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО».
4. Рекомендации по применению георадиолокационных исследований в комплексе геотехнических работ. – М. : НИИОСП, 2000.
5. ГОСТ 23061-2012 Грунты. Методы радиоизотопных измерений плотности и влажности.
6. СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85».
7. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 (и ГОСТ 9.602-2016 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС)).

List of references

1. Report on climate features on the territory of the Russian Federation for 2022. (ROSHYDROMET). – М., 2023.
2. Reports on engineering and geological surveys at the facilities of Samaraneftegaz JSC for 2014–2022. – Samra-NINIneft LLC.
3. Operating Instructions Radio technical device for subsurface sounding (georadar) «ОКО».
4. Recommendations on the use of georadar research in the complex of geotechnical works. – М. : НИОСП, 2000.
5. GOST 23061-2012 Soils. Methods of radioisotope measurements of density and humidity.
6. SP 28.13330.2017 «Protection of building structures from corrosion. Updated edition of SNiP 2.03.11-85».
7. Updated version of SNiP 2.03.11-85 (and GOST 9.602-2016 Unified Corrosion and Aging Protection System (ESZKS)).

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АКУСТИЧЕСКОГО СПОСОБА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ**

**INFLUENCE OF TRANSITION RESISTANCE
ON THE EFFICIENCY OF THE ACOUSTIC METHOD
OF DETERMINING THE POINT OF CABLE DAMAGE**

Кашин Яков Михайлович

кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой электротехники и электрических машин
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Кириллов Геннадий Алексеевич

кандидат технических наук,
Заслуженный энергетик России
Кубанский государственный технологический университет

Шаршак Алексей Александрович

аспирант кафедры электротехники и электрических машин
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Шестаков Фёдор Алексеевич

студент направления подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Кузнецов Дмитрий Николаевич

студент направления подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
Института Нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В статье рассмотрено влияние состояния контакта высоковольтного провода и жилы повреждённого кабеля на работу акустического метода определения места повреждения кабеля и проанализированы варианты устранения промежуточного разряда в месте контакта.

Ключевые слова: акустический способ определения места повреждения кабеля, переходное сопротивление, разряд.

Kashin Yakov Mikhailovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head Department of «Electrical Engineering
and Electrical Machines»,
Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University

Kirillov Gennady Alekseevich

Candidate of Technical Sciences,
Honored Power Engineer of Russia,
Kuban State Technological University

Sharshak Alexey Alexandrovich

Postgraduate Student of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Machines,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University

Shestakov Fedor Alekseevich

Student of the Direction of Preparation 13.03.02
«Electric Power and Electrical Engineering»,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University

Kuznetsov Dmitry Nikolaevich

Student of the Direction of Preparation 13.03.02
«Electric power and electrical engineering»,
Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University

Annotation. The article considers the influence of the state of contact of a high-voltage wire and the core of a damaged cable on the operation of the acoustic method for determining the location of cable damage and analyzes options for eliminating an intermediate discharge at the contact point.

Keywords: acoustic method for determining the location of cable damage, contact resistance, discharge.

Акустический метод предназначен для определения мест повреждений, носящих характер обрыва, «заплывающего» пробоя или короткого замыкания с переходным сопротивлением кабеля более 50 Ом [1, 4].

Сущность акустического метода заключается в фиксации над местом повреждения акустических колебаний грунта, вызванных искусственно созданными искровыми разрядами в месте повреждения от генератора высоковольтных импульсов (далее – ГВИ) (рис. 1).

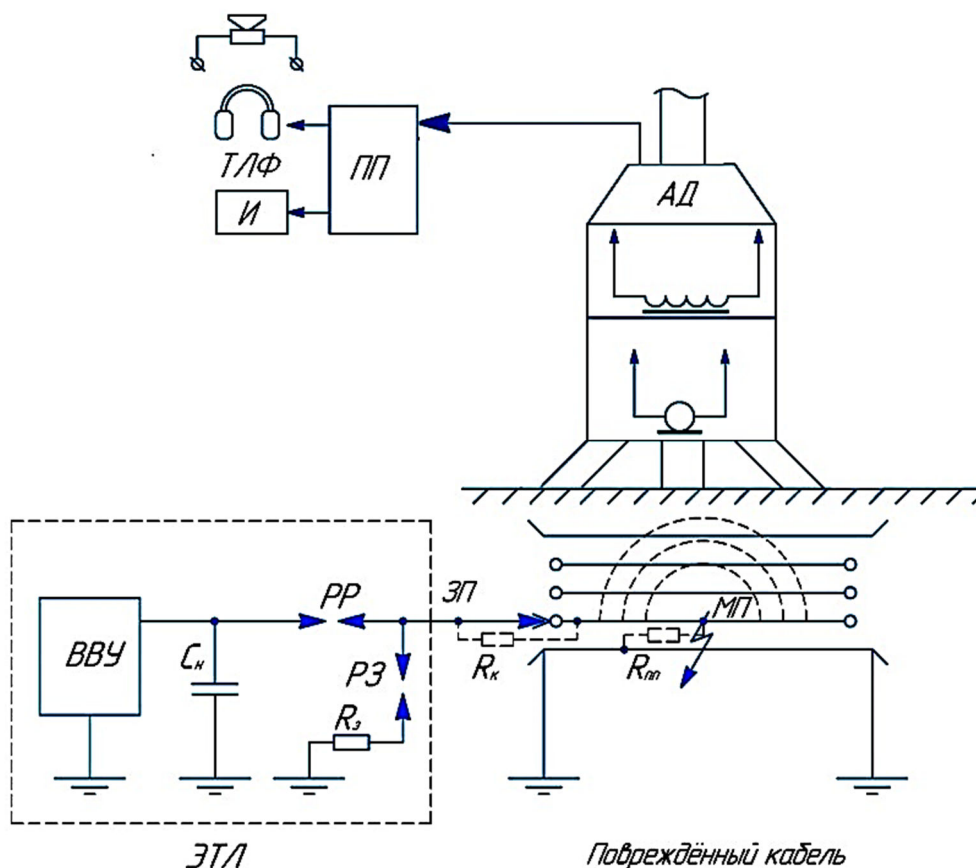


Рисунок 1 – Функциональная электрическая схема акустического метода определения места повреждения кабеля

На рисунке 1 обозначены: ЭТЛ – электротехническая лаборатория с генератором высоковольтных импульсов, в состав которого входят ВВУ – высоковольтная выпрямительная установка, C_n – накопительный конденсатор, R_p – рабочий разрядник, R_z – заземляющий разрядник; ЗП – зажим присоединительный, МП – место повреждения, АД – акустический датчик, ПП – поисковый приёмник, И – индикатор, ТЛФ – телефоны, R_z – сопротивление цепи заземлителя, R_k – сопротивление контакта, $R_{мп}$ – переходное сопротивление в месте повреждения.

Для получения мощного разряда в месте повреждения электрическая энергия предварительно накапливается от выпрямительной установки ВВУ в накопительном конденсаторе C_n , а затем через разрядник РР разряжается на кабель [2–3].

После посылки импульса высокого напряжения в линию в месте повреждения возникает искровой разряд. Вся энергия, запасенная в конденсаторе, за очень короткое время (десятки микросекунд) расходуется на создание пробоя в месте повреждения. Происходит мощный разряд, в результате чего возникают акустические колебания, которые распространяются в грунте и достигают его поверхности (рис. 2).

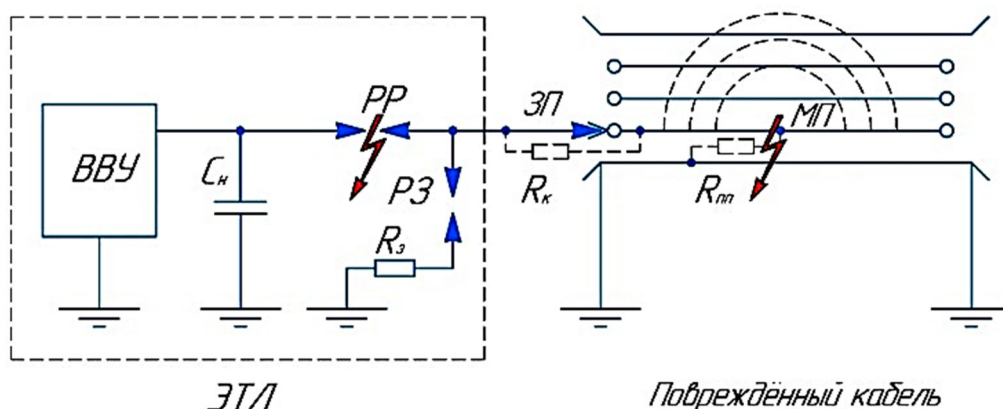


Рисунок 2 – места разряда при нормальном режиме работы ГВИ

Разряд конденсатора через разрядник можно принимать за импульс мощности, который обладает крутым фронтом возрастания и пологим фронтом падения. Частотно-зависимое затухание длинных кабелей оказывает отрицательное влияние на крутизну импульса. Импульсу мощности необходимо время, чтобы произвести воспламенение и вызвать пробой в месте повреждения. Физические свойства места повреждения и обуславливаемое ими распространение плазменного облака, сильно влияют на время возникновения пробоя. Чем дольше напряжение держится в месте повреждения, тем меньшее напряжение необходимо для воспламенения.

Значительное влияние на величину импульса мощности оказывает также сопротивление в месте подключения высоковольтного кабеля от ГВИ к поврежденной жиле силового кабеля. При значительных величинах сопротивления в месте подключения R_k возникает промежуточный разряд, интенсивность которого обратно пропорциональна расстоянию до места повреждения (рис. 3).

При значениях R_k близких к переходному сопротивлению в месте повреждения R_n потери импульса мощности максимальны, что приводит к возникновению обратного напряжения, способного вывести из строя элементы коммутации ГВИ и автоматическому разряду накопительного конденсатора через заземление [3] (рис. 4).

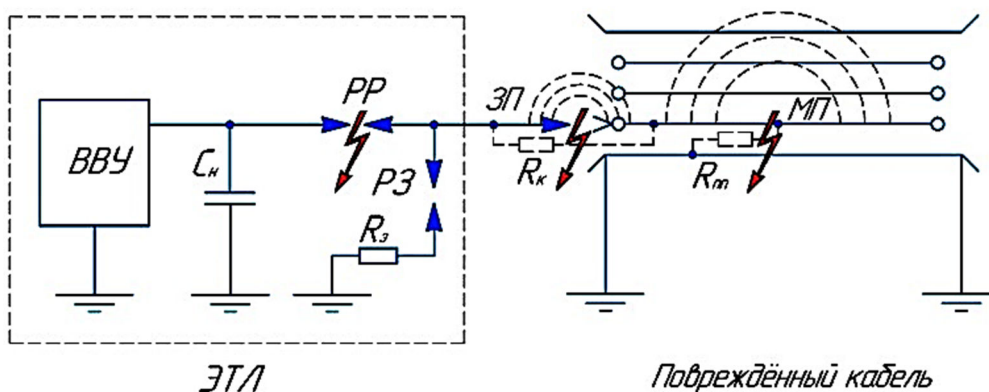


Рисунок 3 – Места возникновения разрядов при высоком переходном сопротивлении в месте присоединения высоковольтного кабеля от ГВИ к жиле повреждённого кабеля

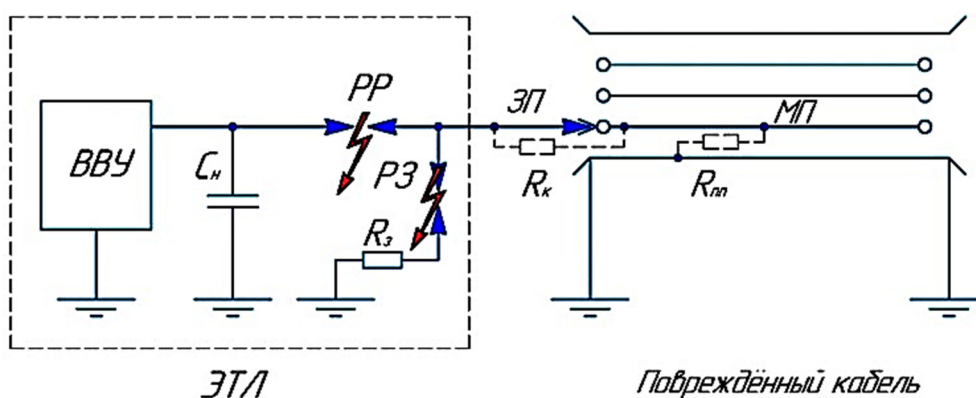


Рисунок 4 – Разряд накопительного конденсатора при отключении ГВИ

Основной причиной высокого переходного сопротивления в месте присоединения высоковольтного кабеля от ГВИ к жиле повреждённого кабеля является плохое качество контакта в результате загрязнения жилы или нагара на присоединительном зажиме.

К способам устранения представленных негативных эффектов относятся:

- высокоточная механическая и химическая обработка места контакта;
- использование зажима типа «Струбцина»;
- использование контактных вяжущих веществ, по типу токопроводящих паст и смазок.

Высокоточная механическая и химическая обработка позволяет достигать гладкой поверхности металла за счёт выравнивания шероховатостей и каверн (царапин) материала. Недостатками указанного способа являются увеличение времени работ и неудобство проведения обработки в различных конфигурациях поверхностей и их расположении.

Использование струбцин уменьшит время подготовительных работ и увеличит контактную поверхность, но ввиду габаритов имеет ограниченные места использования.

Использование контактных вяжущих веществ позволит увеличить поверхность контакта без затрат по времени и не имеет ограничений по использованию, однако влечёт за собой дополнительные расходы.

Таким образом, предварительные операции по улучшению качества электрического контакта в месте присоединения высоковольтного провода от ГВИ к жиле повреждённого кабеля позволяют повысить срок службы оборудования электролаборатории и повысить точность определения места повреждения кабеля акустическим методом.

Список литературы

1. Кириллов Г.А. Теория и практика поиска отказов в кабельных линиях электропередачи: монография. – Краснодар : КВВАУЛ, 2006. – 274 с.
2. Аппаратура поиска отказов в кабельных линиях. Технические описания и инструкции по применению. – Германия, SEBA DYNATRONIK, 2004–2006.
3. Кириллов Г.А. К вопросу о поиске однофазных замыканий в силовых кабелях / Г.А. Кириллов, В.П. Горбатенко, А.В. Ракло // ЭМПЭ-04. Материалы Третьей межвуз. науч. конф. – Краснодар : КВАИ, 2004. – Т. 2.
4. Индукционно-акустический кабелеискатель / Я.М. Кашин [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2020. – С. 85–91.

List of references

1. Kirillov G.A. Theory and practice of finding failures in cable power lines: a monograph. – Krasnodar : KVVAUL, 2006. – 274 p.
2. Equipment for the search for failures in cable lines. Technical descriptions and instructions for use. – Germany, SEBA DYNATRONIK, 2004–2006.
3. Kirillov G.A. To the question of the search for single-phase short circuits in power cables / G.A. Kirillov, V.P. Gorbatenko, A.V. Raklo // EMPE-04: materials of the third interuniversity scientific conference. – Krasnodar : KVAI, 2004. – Vol. 2.
4. Induction acoustic cable detector / Ya.M. Kashin [et al.] // Bulletin of the Adygea State University. Series 4: Natural-Mathematical and Technical Sciences. – 2020. – P. 85–91.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR POWER
SUPPLY OF OIL AND GAS FIELDS**

Кашин Яков Михайлович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
Электротехники и электрических машин
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
jlms@mail.ru

Митин Владислав Николаевич

аспирант кафедры Электротехники и электрических машин
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
vladislav.mitin.1997@bk.ru

Батышев Айтеч Индарович

студент кафедры Электротехники и электрических машин
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
aitechbatyshev@gmail.ru

Аннотация. В статье предложен способ энергоснабжения нефтегазовых месторождений с помощью возобновляемых источников энергии. Рассмотрены существующие проекты энергоснабжения нефтедобывающих компаний с помощью возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: энергоснабжение нефти-газовых месторождений, возобновляемые источники энергии, гибридный энергетический комплекс.

Kashin Yakov Mikhailovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Machines

Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
jlms@mail.ru

Mitin Vladislav Nikolaevich

Postgraduate Student of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Machines
Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
vladislav.mitin.1997@bk.ru

Batyshev Aitech Indarovich

Student of the Department of Electrical Engineering
and Electrical Machines
Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
aitechbatyshev@gmail.ru

Annotation. The article proposes a method for energy supply of oil and gas fields using renewable energy sources. Existing projects for energy supply of oil producing companies with the help of renewable energy sources are considered.

Keywords: energy supply of oil and gas fields, renewable energy sources, hybrid energy complex.

В настоящее время возрастает необходимость в использовании возобновляемых источников энергии в различных отраслях экономики [1]. Нефтегазовая промышленность – одна из крупнейших потребителей энергии, и энергоснабжение нефтегазовых предприятий является одним из основных факторов их успешной деятельности.

Традиционно, нефтегазовые предприятия используют природный газ и нефть для обеспечения своей энергетической потребности, а также дизель-генераторные электростанции. Однако, такой подход к энергетическому обеспечению не только неэффективен, но и сопряжен с высокими экологическими рисками, так как сжигание нефти и газа является основным источником выбросов парниковых газов, что в свою очередь ведет к изменению климата. Дизель-генераторные электростанции также являются источником выбросов вредных веществ в атмосферу, что может негативно влиять на здоровье людей и экосистемы.

В структуру энергоснабжения предприятий можно интегрировать возобновляемые источники энергии, основываясь на объемах и периодичности потребления электроэнергии на конкретных объектах. Это способствует уменьшению использования ископаемых видов топлива и, как следствие, уменьшению выбросов парниковых газов. Кроме того, использование возобновляемых источников энергии позволяет снизить операционные расходы, включая затраты на традиционные виды топлива [2].

В случаях, когда не требуется непрерывное энергоснабжение, применение возобновляемых источников энергии является оптимальным, но в других ситуациях их можно использовать в сочетании с традиционными источниками в рамках гибридных систем.

Для каждого из этапов использования месторождения выбирается соответствующий вид возобновляемой энергии. Когда разработка месторождения подходит к окончанию, потребление электроэнергии возрастает, так как давление снижается и требуются дополнительные энергия для извлечения углеводородов на поверхность. В данном случае если использовать установки на основе возобновляемой энергии вместо традиционных дизельных или газовых электростанций, можно значительно сократить потребление топлива [2].

В нефтегазовой индустрии некоторых стран существуют проекты, где использование возобновляемой энергии уже имеет экономическую целесообразность, особенно, когда требуется дорогостоящая доставка дизельного или другого топлива на удаленные объекты [3–4].

Одним из таких является фотоэлектрическая станция на месторождении нефти и газа в Арктике [3]. В данной работе рассматривается возможность установки фотоэлектрических станций в электроснабжающую систему нефтедобывающего предприятия, которые обеспечат непрерывную работу оборудования. Электроэнергия, производимая на солнечных панелях, повысит эффективность использования энергии на месторождении. Установка солнечной электростанции мощностью 1 МВт позволит снизить выбросы загрязняющих веществ от дизель-генераторных установок мощностью 200 кВт на 16,6 %, что улучшит экологическую ситуацию в регионе. Моделирование показало экономическую выгоду от использования фотоэлектрических станций

мощностью 1 МВт, которая окупится в течение 9,6 лет после ввода их в эксплуатацию [3]. На рисунке 1 представлена имитационная модель автономной системы электроснабжения.

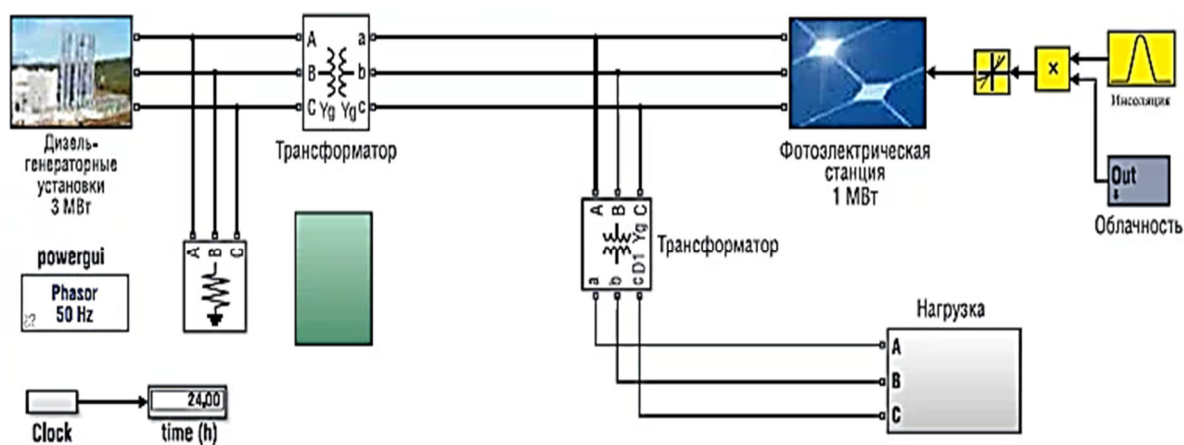
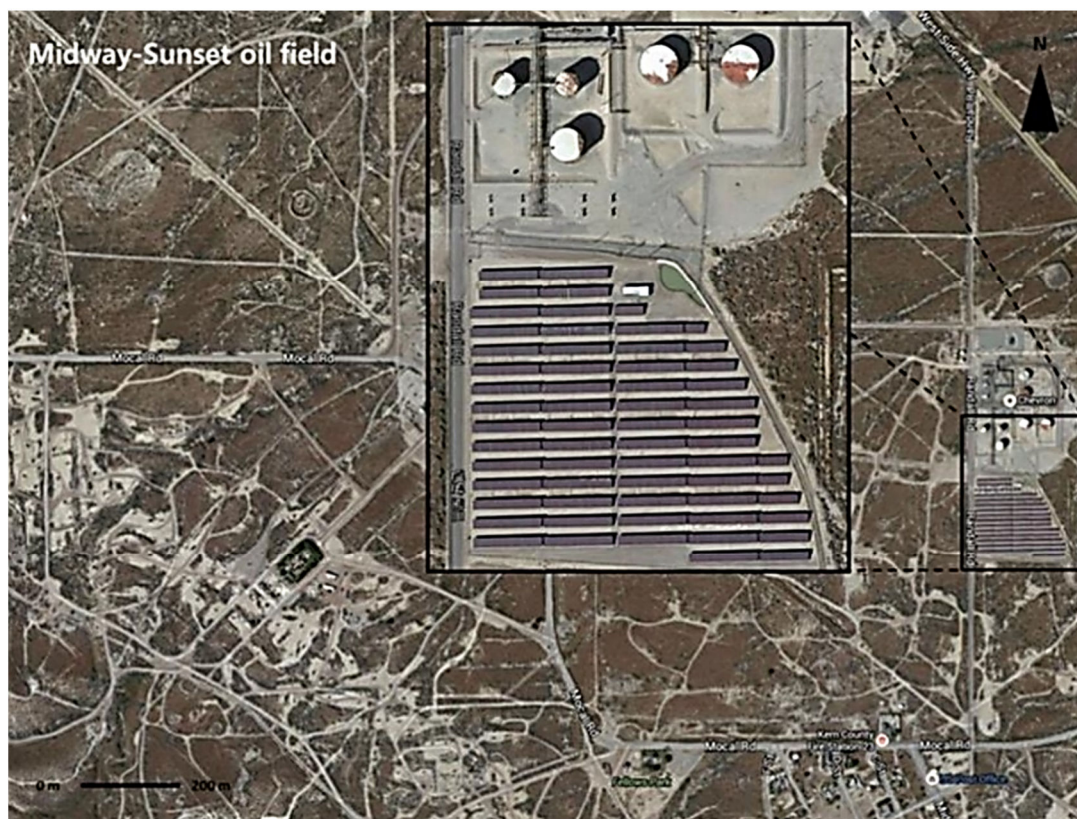


Рисунок 1 – Имитационная модель автономной системы электроснабжения

Действующим примером использования возобновляемых источников для энергоснабжения нефтегазового месторождения является крупнейшая национальная компания Китая «National Offshore Oil Corporation», которая с 1993 года эксплуатирует нефтяное месторождение Suizhong 36-1 расположенное в заливе Ляодун Бохайского моря. Это крупнейшее нефтяное месторождение в Бохайском море, запасы нефти которого превышают один миллиард тонн. Нефтяное месторождение Suizhong 36-1 имеет множество морских платформ со стальными кожухами, некоторые по истечению времени стали непригодными для использования, в связи с этим, в 2007 году «National Offshore Oil Corporation» использовала устаревшую платформу в качестве фундамента для строительства ветряной турбины мощностью 1,5 МВт. Электроэнергия, производимая этой ветряной турбиной, снабжает производственную установку на нефтяном месторождении Суйчжун 36-1. Это позволило сократить выбросы парниковых газов на 5300 тонн в год [4].

На нефтяных месторождениях Midway-Sunset и Kern River в США были установлены фотоэлектрические системы мощностью 500 кВт и 750 кВт соответственно для обеспечения электричеством добычи и транспортировки нефти и газа. Кроме того, на месторождении Bayou в Луизиане (также в США) были установ-

лены фотоэлектрические системы мощностью 3,9 кВт, 6,25 кВт и 7,7 кВт для предотвращения коррозии нефтепроводов [4]. На рисунке 2 показано расположение фотоэлектрических панелей на свободной территории нефтедобывающего предприятия.



Рисунке 2 – Фотоэлектрические системы мощностью 500 кВт
На нефтяном месторождении Midway-Sunset

Основным недостатком рассмотренных объектов, использующих возобновляемые источники для энергоснабжения, является зависимость объема выработки электроэнергии от условий окружающей среды, таких как солнечное излучение и скорость ветра. Отдельные источники энергии не могут обеспечить непрерывное питание нагрузки из-за неопределенности и периодичности условий окружающей среды. Для решения этой проблемы можно использовать гибридный энергетический комплекс [5]. Благодаря суммированию кинетической энергии ветра, световой и тепловой энергии солнца, данный комплекс может обеспечить более стабильное и надежное энергоснабжение в любых условиях.

Согласно отчету независимой аналитической и консалтинговой компании Rystad Energy, крупнейшие мировые нефтегазовые компании, такие как Shell, Equinor, Total, BP и ENI, сделали

основной вклад в инвестирование мощностей возобновляемых источников энергии в 2021 году. Они выделили на развитие возобновляемой энергетики в среднем 3–5 % от общих инвестиций, что составляет от 0,3 до 1 млрд долларов США [6].

В заключении следует отметить, что использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения нефтегазовых месторождений может быть эффективным решением с позиций экономической и экологической эффективности. Некоторые компании уже успешно применяют возобновляемые источники энергии для снабжения своих месторождений, что подтверждает перспективы их использования в этой отрасли. Однако, необходимо учитывать особенности каждого конкретного месторождения и выбирать оптимальный источник энергии с учетом всех факторов.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р «Энергетическая стратегия на период до 2035» // Минэнерго России: официальный сайт. – URL : <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/1026/119047>
2. Ericson S. Approaches for Integrating Renewable Energy Technologies in Oil and Gas Operations / S. Ericson, J. Engel-Cox, D. Arent // The Joint Institute for Strategic Energy Analysis. – 2019 – P. 20–25.
3. Зимин Р.Ю. Фотоэлектрические станции в автономной системе электроснабжения на месторождении нефти и газа в Арктике / Р.Ю. Зимин, В.Н. Кучин // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022. – № 9(129). – С. 62–67.
4. Choi Y. Review of renewable energy technologies utilized in the oil and gas industry / Y. Choi, C. Lee, J. Song // International Journal of Renewable Energy Research. – 2017 – Vol. 7(2) – P. 592–598.
5. Патент 2759192 RU, 16.03.2021. Гибридный энергетический комплекс / Я.М. Кашин // Опубл. 10.11.2021. Бюл. № 31.
6. Константинов Н. Поглощение альтернативы: зачем нефтяники скупают производителей зеленой энергии // «HSE Daily». – 2022. – URL : <https://daily.hse.ru/post/548>

List of references

1. Decree of the Government of the Russian Federation dated June 09, 2020 № 1523-r «Energy Strategy for the period up to 2035» // Ministry of Energy of Russia: official website. – URL : <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/1026/119047>
2. Ericson S. Approaches for Integrating Renewable Energy Technologies in Oil and Gas Operations / S. Ericson, J. Engel-Cox, D. Arent // The Joint Institute for Strategic Energy Analysis. – 2019 – P. 20–25.

3. Zimin R.Yu. Photovoltaic stations in an autonomous power supply system at an oil and gas field in the Arctic / R.Yu. Zimin, V.N. Kuchin // Business magazine Neftegaz.RU. – 2022. – № 9(129). – P. 62–67.
4. Choi Y. Review of renewable energy technologies utilized in the oil and gas industry / Y. Choi, C. Lee, J. Song // International Journal of Renewable Energy Research. – 2017 – Vol. 7(2). – P. 592–598.
5. Patent 2759192 RU, 03/16/2021. Hybrid energy complex / Ya.M. Kashin // Publ. 11/10/2021. Bull. № 31.
6. Konstantinov N. Absorption of the alternative: why oil companies are buying green energy producers / N. Konstantinov // HSE Daily. – 2022. – URL : <https://daily.hse.ru/post/548>

**МОДЕРНИЗАЦИЯ УКАЗАТЕЛЕЙ ПРОХОЖДЕНИЯ
ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ПОДСТАНЦИЯХ
КРАСНОДАРСКИХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ**

**MODERNIZATION OF SHORT-CIRCUIT CURRENT
FLOW INDICATORS AT SUBSTATIONS
OF KRASNODAR POWER GRIDS**

Кашин Яков Михайлович

кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой Электротехники и электрических машин
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Нечёсов Владимир Евгеньевич

старший преподаватель
кафедры Электротехники и электрических машин
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Кузнецов Дмитрий Николаевич

студент направления подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Шестаков Фёдор Алексеевич

студент направления подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Мороз Владислав Сергеевич

студент направления подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В статье рассмотрены основные причины выхода из строя указателей прохождения токов короткого замыкания. Разработаны варианты их модернизации и методики ремонта.

Ключевые слова: указатель прохождения токов короткого замыкания, релейная защита, гальваническая развязка, указательное реле.

Kashin Yakov Mikhailovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head Department of Electrical Engineering
and Electrical Machines,
Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University

Nechesov Vladimir Evgenievich

Senior Lecturer of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Machines,
Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University

Kuznetsov Dmitry Nikolaevich

Student of the Direction of Preparation 13.03.02
«Electric Power and Electrical Engineering»,
Institute oil, gas and energy,
Kuban State Technological University

Shestakov Fedor Alekseevich

Student of the Direction of Preparation 13.03.02
«Electric Power and Electrical engineering»,
Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University

Moroz Vladislav Sergeevich

Student of the Direction of Preparation 13.03.02
«Electric Power and Electrical Engineering»,
Institute Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University

Annotation. The article discusses the main reasons for the failure of short-circuit current flow indicators. Options for their modernization and repair methods have been developed.

Keywords: short circuit current indicator, relay protection, galvanic isolation, indicator relay.

Указателями прохождения токов короткого замыкания (далее – УТКЗ) являются индикаторные запоминающие устройства, предназначенные для локализации повреждённого участка линии электропередачи, защита которой осуществ-

ляется комплектом электромеханических или полупроводниковых устройств релейной защиты, не обеспечивающих возможность определения места повреждения по параметрам аварийного режима [1–3].

УТКЗ устанавливаются на ячейках входящих и отходящих линий комплектных трансформаторных подстанций (рис. 1). В качестве датчиков прохождения токов короткого замыкания используются герконы [4], размещённые на корпусе ячейки по стороне высокого напряжения за шинами фаз А и С (рис. 2)

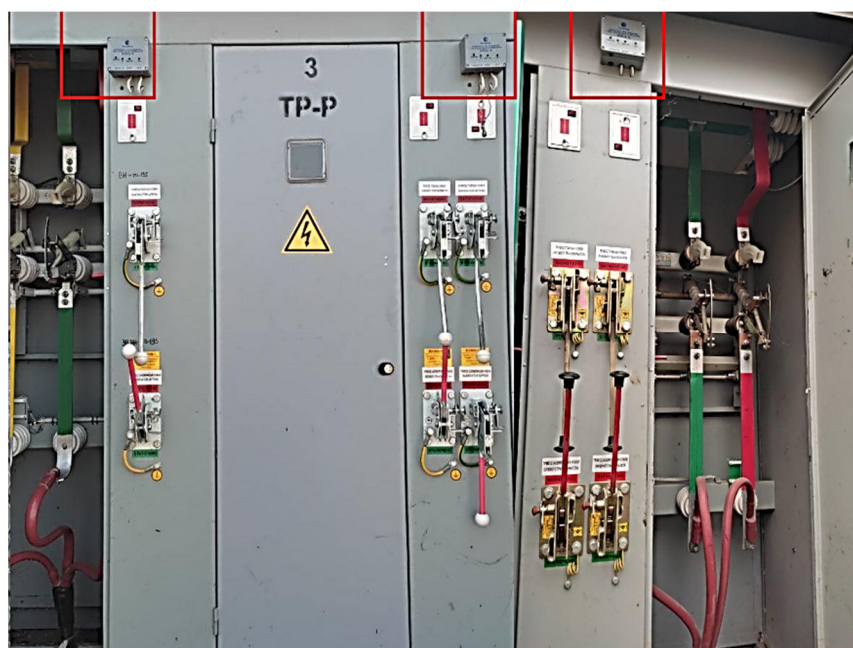


Рисунок 1 – Места установки УТКЗ

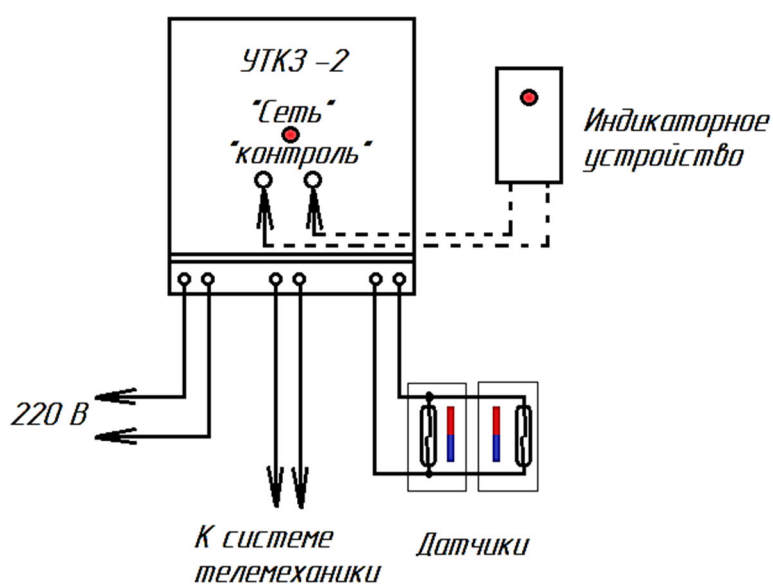


Рисунок 2 – Схема подключения УТКЗ

Основным недостатком УТКЗ является низкая надёжность и частый выход из строя, обусловленный рядом причин:

- кратковременное повышение напряжения на выводах цепей питания собственных нужд подстанций (250 В вместо 220 В);
- наведённая ЭДС и перенапряжения в цепи измерительных датчиков при прохождении по шинам высокого напряжения тока короткого замыкания;
- отсутствия гальванической развязки между внутренними цепями УТКЗ и датчиками.

В приборах типа УТКЗ-2 ранней серии, принцип срабатывания которых основан на быстром разряде накопительного конденсатора через замкнутый геркон и обмотку запоминающего реле, наиболее часто выходят из строя токоограничивающие резисторы и диоды цепи питания, а также накопительный конденсатор.

В приборах типа УТКЗ-2 поздней серии принцип срабатывания которых аналогичен описываемому выше, за исключением того, что замыкание выводов накопительного конденсатора на обмотку реле осуществляется через электронный ключ в виде биполярного транзистора, наиболее часто выходят из строя полупроводниковые элементы – транзистор (совместно с ним перегорает резистор на 47 Ом в цепи коллектора), а также тиристор в цепи возврата поляризованного реле в исходное положение после восстановления электропитания.

В приборах типа УТКЗ-4 в аварийных случаях наиболее уязвимыми являются полупроводниковые радиоэлектронные компоненты, а в приборах типа УТКЗ-К последних серий – микроконтроллер, что в большинстве случаев делает их неремонтопригодными.

В качестве модернизации существующих систем указания прохождения токов короткого замыкания рассмотрены два варианта. Первый – с использованием в качестве индикаторного элемента – указательного реле (например, РУ 21, РУ 21-1), обмотка которого подключена последовательно с выпрямителем и герконами (рис. 3).

К преимуществам данного конструкторского решения относятся:

- относительно низкая себестоимость составных компонентов;
- простота конструкции;
- надёжность;
- возможность ремонта непосредственно на объекте.

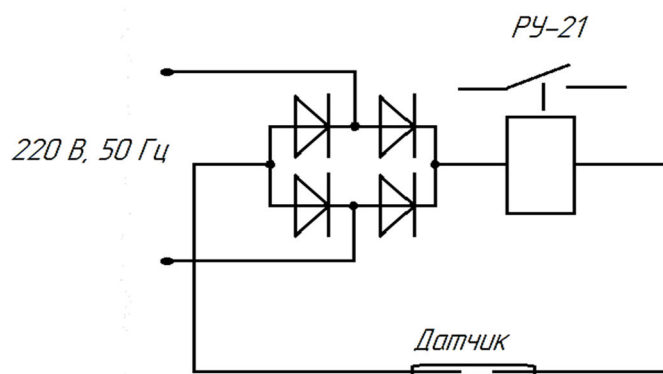


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема УТКЗ на основе указательного реле

Однако широкое применение УТКЗ подобной конструкции невозможно ввиду отсутствия возможности самовозврата индикаторного устройства в начальное положение и необходимости проведения переключений вручную после каждого срабатывания.

Вторым вариантом модернизации УТКЗ является изменение конструкции датчика и индикаторного устройства под систему с гальванической развязкой посредством оптоволоконной связи (рис. 4).

К преимуществам данного решения относятся:

- надёжность конструкции;
- возможность объединения в одном корпусе указателя прохождения тока короткого замыкания и устройства дуговой защиты;
- устойчивость к электромагнитным помехам.

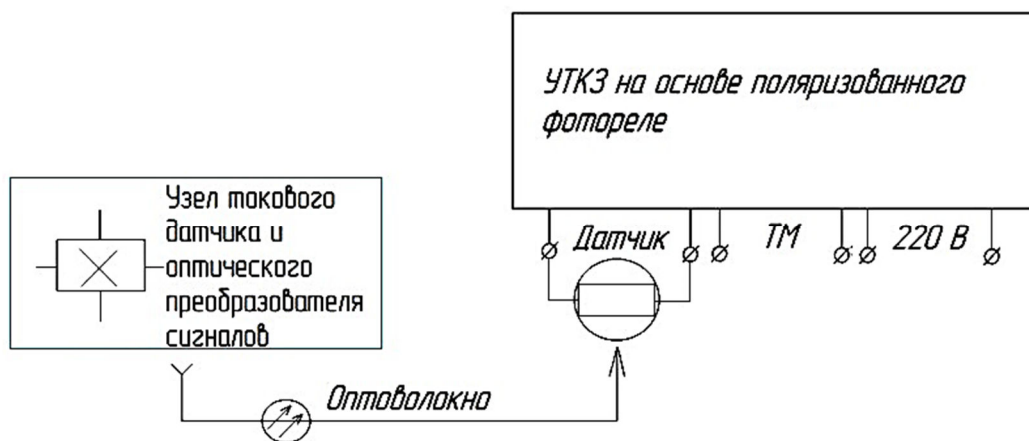


Рисунок 4 – Схема УТКЗ с развязкой датчика и индикаторного устройства

Изменение конструкции УТКЗ позволит существенно повысить их надёжность и снизить трудозатраты, связанные с их регулярным ремонтом и заменой.

Список литературы

1. Кессельринг Ф. Селективная защита / Пер. с нем. – М.; Л. : Энергоиздат, 1932. – 179 с.
2. Шуин В.А. Защита от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ / В.А. Шуин, А.Г. Гусенков. – М. : Энергопресс, 2001. – 104 с.
3. Кузнецов А.П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 93 с.
4. Демченко В.Т. Герконный указатель места прохождения токов короткого замыкания в электрических сетях 6–10 кВ // Прикладные задачи энергетических и электромеханических систем: Труды ВНТОЭ / Краснодарское краевое правление. – Краснодар, 1990. – С. 21.

List of references

1. Kesselring F. Selective protection / F. Kesselring; Transl. from German. – M.; L. : Energoizdat, 1932. – 179 p.
2. Shuin V.A. Ground fault protection in electrical networks 6–10 kV / V.A. Shuin, A.G. Gusenkov. – M. : Energopress, 2001. – 104 p.
3. Kuznetsov A.P. Determination of damage locations on overhead power lines. – M. : Energoatomizdat, 1989. – 93 p.
4. Demchenko V.T. Reed indicator of the place of passage of short-circuit currents in electrical networks 6–10 kV // Applied Problems of Energy and Electromechanical Systems: Proceedings of VNTOE / Krasnodar Regional Administration. – Krasnodar, 1990. – P. 21.

**РАЗРАБОТКА МАЛОИНЕРЦИОННОГО
ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ
ЖИДКОСТИ ИЛИ ГАЗА
В НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИНАХ**

**DEVELOPMENT OF A LOW-INERTIA
THERMOANEMOMETRIC SENSOR
FOR DETERMINING THE VELOCITY OF LIQUID
OR GAS IN OIL AND GAS WELLS**

Климов Вячеслав Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный технологический университет
vvklimov2010@gmail.com

Третьяк Константин Александрович

ассистент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный технологический университет
mr.konstantin.tr@gmail.com

Нетребко Александр Аркадьевич

ведущий инженер,
ПФ «Севергазгеофизика» ООО «Газпром недра»

Аннотация. В статье предложено новое техническое решение, а именно новый термоанемометрический датчик, позволяющий снизить тепловую инерцию и потребляемую мощность, а также повысить надежность.

Ключевые слова: датчик, инерция, кожух, масса, мощность, скорость, температура, флюид.

Klimov Vyacheslav Vasilyevich

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Associate Professor of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Kuban State University of Technology
vvklimov2010@gmail.com

Tretyak Konstantin Alexandrovich

Assistant Departments of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Kuban State University of Technology
mr.konstantin.tr@gmail.com

Netrebko Alexander Arkadievich

Lead Engineer,
PF «Severgazgeofizika» LLC «Gazprom Nedra»

Annotation. The article proposes a new technical solution, namely a new thermoanemometric sensor, which reduces thermal inertia and power consumption, as well as increases reliability.

Keywords: sensor, inertia, casing, mass, power, speed, temperature, fluid.

Известные скважинные термоанемометры, применяемые для индикации притока и расхода жидкости или газа в скважинах, обладают низкой достоверностью показаний из-за большой тепловой инерции датчиков. Например, датчик серийного скважинного термоанемометра [1] содержит защитный трубчатый кожух, состоящий из двух полостей, внутри которых раздельно установлены нагревательный и термочувствительный элементы. Ввиду раздельного расположения их внутри трубчатого охранного кожуха, имеющего значительную толщину и массу, а также из-за значительного теплового сопротивления между нагревателем, термочувствительным элементом и наружной стенкой кожуха датчика, получение корректных результатов измерений оказывается возможным лишь при медленных изменениях скорости движения флюидов, что ограничивает область применения скважинного термоанемометра. Другим его недостатком является большое потребление электрической энергии на нагрев датчика выше температуры окружающей среды, поскольку он имеет значительную массу и габариты.

Основными недостатками датчика скорости движения флюидов, применяемого в скважинной аппаратуре газогидродинамического каротажа «Дина-К8», являются:

- значительная тепловая инерция нагревательного элемента и тепловое сопротивление между нагревательным элементом и корпусом, что приводит к низкой достоверности показаний при быстрых изменениях скорости движения флюидов;

- частые выходы из строя диодных датчиков температуры из-за их перегрева при переходе из жидкой среды в газообразную.

Поэтому снижение тепловой инерции и потребляемой мощности, а также повышение надежности термоанемометрических датчиков условиях АВПД и высоких температур является насущной необходимостью.

Суть нового предлагаемого технического решения [2, 3] заключается в том, что, охранный кожух, нагревательный и термочувствительный элементы выполнены из разнородных металлов, функционально совмещены в одном узле и имеют один общий спай.

На рисунке 1 показано схематическое изображение разработанного термоанемометрического датчика в разрезе.

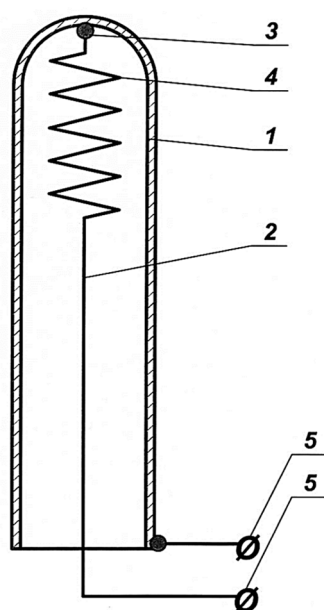


Рисунок 1 – Схематическое изображение малоинерционного термоанемометрического датчика в разрезе:

1 – трубчатый охранный кожух; 2 – внутренний проводник;
3 – спай внутреннего проводника с охранным кожухом; 4 – нагреватель, выполненный из провода внутреннего проводника 2; 5 – электровыводы

Он содержит трубчатый охранный кожух – 1, внутренний проводник – 2, спай внутреннего проводника с охранным кожухом – 3, нагреватель – 4, выполненный из провода внутреннего проводника – 2, электровыводы – 5. Термоанемометрический датчик работает следующим образом.

При подключении электровыводов 5 к источнику тока происходит разогрев нагревателя 4 выше температуры окружающей среды в ближней от термочувствительного спая 3 зоне. При этом образуется термоэдс, которая будет пропорциональна разнице температур холодных и горячих концов термопары.

Набегающий поток флюида уносит тепло с горячего спая 3 и охлаждает его. При этом значение термоэдс изменяется пропор-

ционально уменьшению температуры и характеризует наличие движения или скорость течения флюида. Измеряя значения термоэдс (температуры нагрева) после отключения источника питания, по падению термоэдс (температуры) судят о скорости течения флюида в точке спая.

Такое конструктивное решение позволяет:

- образовать термочувствительный элемент – термопару из металла охранный кожуха (с одной стороны) и внутреннего проводника (с другой стороны);
- обеспечить непосредственный контакт точки спая с потоком флюида, т.е. резко снизить тепловое сопротивление;
- резко снизить тепловую инерцию за счет снижения массы датчика;
- резко снизить потребляемую мощность на его нагрев.

Каждый из признаков необходим, а все в совокупности – достаточны для снижения тепловой инерции, потребляемой мощности и повышения точности термоанемометрического датчика, что позволяет расширить его область применения, например при проведении ГИС по определению профиля притока (или поглощения) в глубоких и сверхглубоких скважинах, а также для решения других задач в экстремальных условиях, поскольку ограничений к применению по термобаростойкости указанный датчик не имеет.

Данное техническое решение признано изобретением [3] и защищено патентом России № 2315323, кл. G01P 5/01.

Список литературы

1. Авторское свидетельство на изобретение № 440484, кл. B21B 47/10. Скважинный термоанемометр. – 1974.
2. Климов В.В. Диагностика технического состояния нефтяных и газовых скважин : монография. – Краснодар : Изд.ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2020. – 319 с.
3. Термоанемометрический датчик скорости движения флюидов. Патент России на изобретение № 2315323. Кл. G01P 5/01. – 2008. – Б.И. № 2.

List of references

1. Copyright certificate for invention № 440484, cl. B21B 47/10. Borehole thermoanemometer. – 1974.
2. Klimov V.V. Diagnostics of the technical condition of oil and gas wells : monograph. – Krasnodar : Publishing house of FGBOU VO «KubSTU», 2020. – 319 p.
3. Thermoanemometric fluid velocity sensor. Russian patent for invention № 2315323. Cl. G01P 5/01. – 2008. – B.I. № 2.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕЛИЧИНЫ ВОЗДУШНОГО
ЗАЗОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ
И МАССИВНЫМ РОТОРОМ-БАРАБАНОМ**

**OPTIMIZATION OF THE AIR GAP VALUE
OF ASYNCHRONOUS MOTORS WITH SQUIRREL-CAGE
AND MASSIVE ROTOR-DRUM**

Копелевич Лев Ефимович

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

Мараховский Евгений Александрович

магистрант,
Кубанский государственный технологический университет
zheka3334@mail.ru

Ким Владислав Анатольевич

аспирант, ассистент кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
vladk-kub@mail.ru

Асланян Ярослав Вадимович

студент,
Кубанский государственный технологический университет
yaroslav.aslanyan@mail.ru

Тулиев Константин Андреевич

студент,
Кубанский государственный технологический университет
k-tuliev@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается влияние величины воздушного зазора перспективных асинхронных двигателей с короткозамкнутым и массивным ротором, выполняющим функцию барабана сепаратора. Описаны конструктивные особенности иссле-

дованных двигателей. Построены и проанализированы рабочие характеристики.

Ключевые слова: воздушный зазор, асинхронный двигатель, массивный ротор, короткозамкнутый ротор, барабан сепаратора, рабочие характеристики.

Kopelevich Lev Efimovich

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Associate Professor of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Machines,
Kuban State University of Technology
kklev@mail.ru

Marakhovsky Evgeny Alexandrovich

Undergraduate,
Kuban State University of Technology
zheka3334@mail.ru

Kim Vladislav Anatolievich

Graduate Student,
Assistant of the Department of Electrical Engineering
and Electrical Machines,
Kuban State Technological University
vladk-kub@mail.ru

Aslanyan Yaroslav Vadimovich

Student,
Kuban State Technological University
yaroslav.aslanyan@mail.ru

Tuliev Konstantin Andreevich

Student,
Kuban State Technological University
k-tuliev@mail.ru

Annotation. The article discusses the influence of the air gap value of promising asynchronous motors with a short-circuited and massive rotor, which acts as a separator drum. The design features of the studied engines are described. The working characteristics are constructed and analyzed.

Keywords: air gap, asynchronous motor, massive rotor, squirrel-cage rotor, separator drum, performance characteristics.

При выполнении научно-исследовательской работы на кафедре электротехники и электрических машин ФГБОУ ВО «КубГТУ» были разработаны перспективные асинхронные двигатели с короткозамкнутым и с массивным роторами двух конструкций: со стандартным и увеличенным воздушными зазорами [1]. Данные двигатели конструктивно выполнены так, что их роторы помимо своего непосредственного предназначения выполняют также функцию барабана сепаратора. В следствие такой особенности разработанных двигателей возникает необходимость увеличения величины воздушного зазора с целью предотвращения механического контакта ротора и статора, вызванного люфтом [2].

Тем не менее чрезмерно большая величина воздушного зазора приводит к существенному ухудшению рабочих характеристик двигателей, по причине чего их эксплуатация может стать технически и экономически нецелесообразной. Таким образом, при проектировании асинхронных двигателей с ротором, выполняющим функцию барабана сепаратора, требуется определить оптимальную величину увеличенного воздушного зазора [1, 3].

Разработка асинхронных двигателей с разными видами роторов обуславливается тем, что в зависимости от вида и количества сепарируемой жидкости может потребоваться достижение высоких пускового момента и механической прочности. В таком случае целесообразно использовать асинхронный двигатель с массивным ротором несмотря на то, что он имеет более низкие КПД и коэффициент мощности по сравнению с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором [4]. Однако при отсутствии необходимости в высоких пусковом моменте и механической прочности следует использовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

На рисунках 1 и 2 представлены соответственно асинхронные двигатели с короткозамкнутым и массивным роторами, выполняющими функцию барабана сепаратора.

С целью определения оптимальной величины увеличенного воздушного зазора были выполнены расчетно-проектировочные работы. Анализ полученных результатов проводился по построенным рабочим характеристикам. Стандартным значением величины воздушного зазора принято 0,75 мм [1], а рассчитанная оптимальная величина увеличенного воздушного зазора равняется 3 мм [5]. При этом номинальная рабочая частота двигателей равна 100 Гц,

поскольку для сепарирования ряда жидкостей (например, нефти и молока) требуется достичь скорости вращения барабана, равной 6000 об/мин.

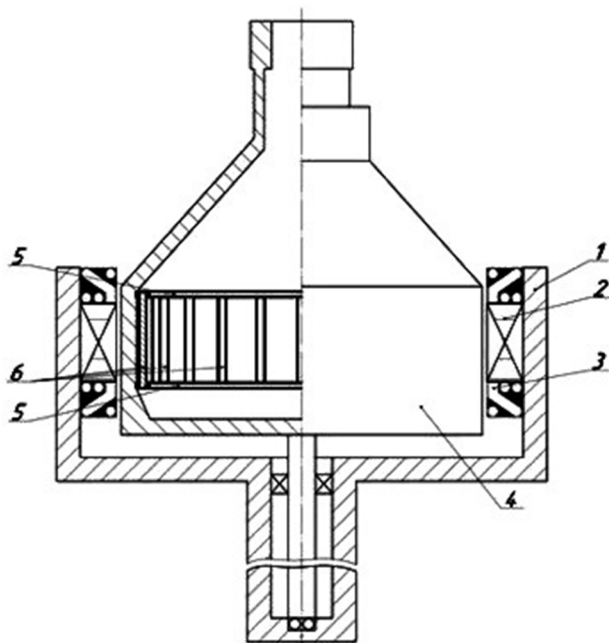


Рисунок 1 – Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, выполняющим функцию барабана сепаратора: 1 – корпус; 2 – магнитопровод статора; 3 – обмотка статора; 4 – ротор-барабан; 5 – ферромагнитные короткозамыкающие кольца; 6 – ферромагнитные токопроводящие стержни)

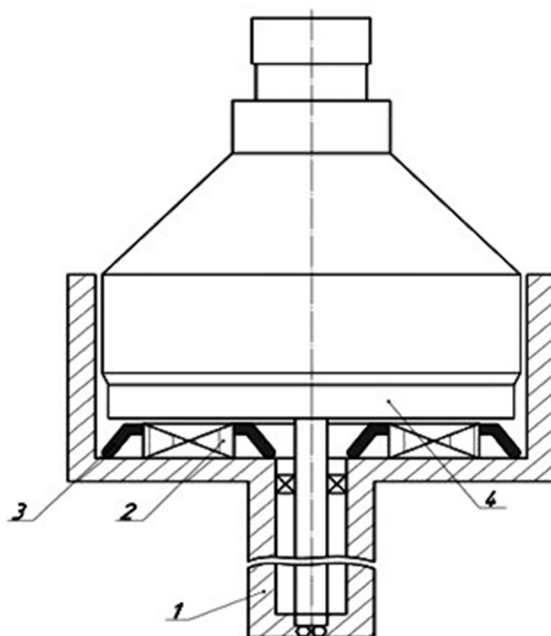


Рисунок 2 – Асинхронный двигатель с массивным ротором, выполняющим функцию барабана сепаратора: 1 – корпус; 2 – магнитопровод статора; 3 – обмотка статора; 4 – ротор-барабан

На рисунках 3 и 4 представлены соответственно рабочие характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при стандартном и увеличенном зазоре.

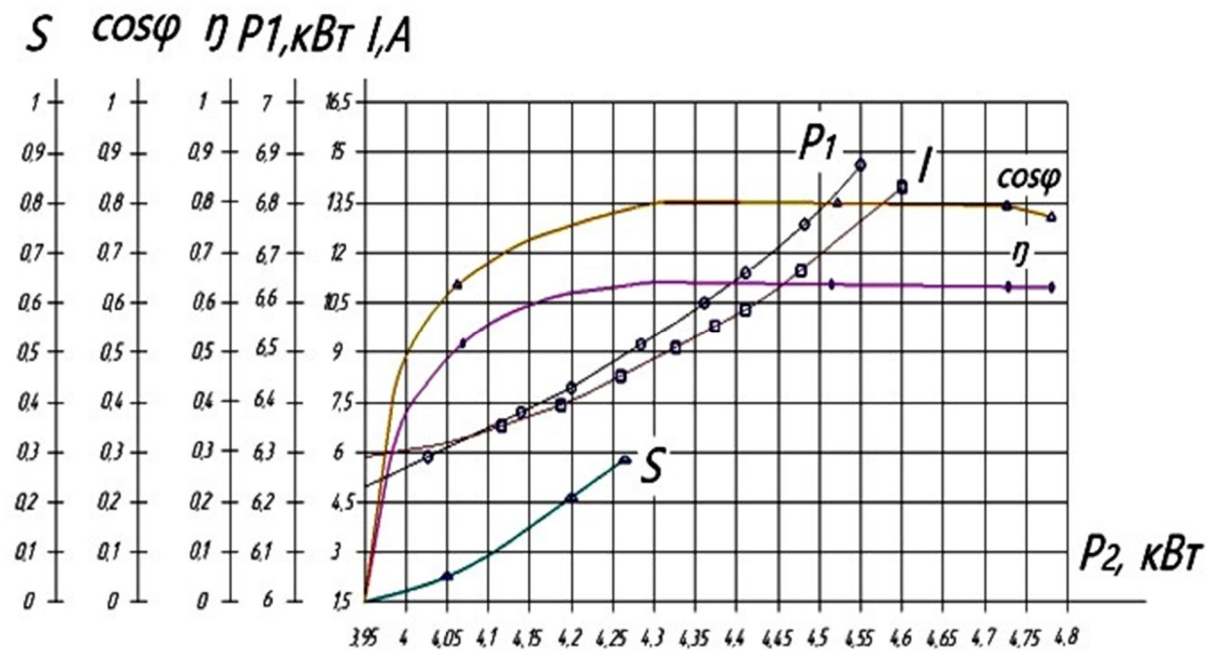


Рисунок 3 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором со стандартным зазором

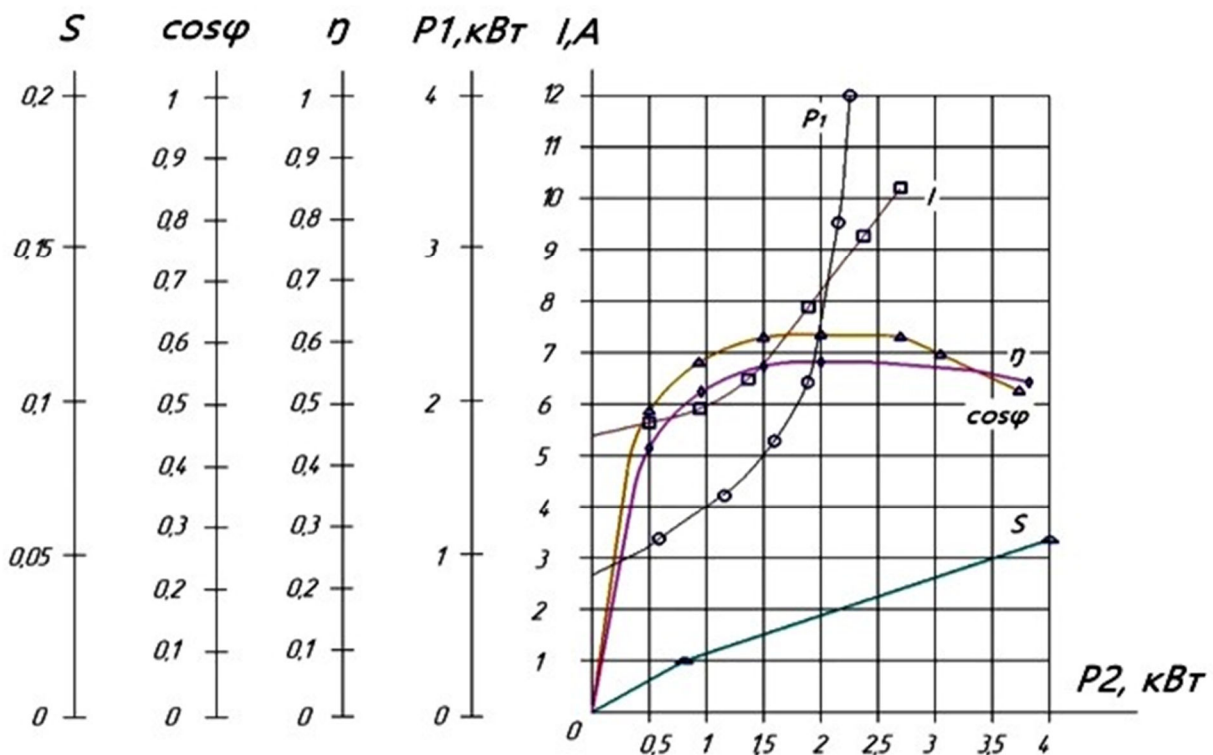


Рисунок 4 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с увеличенным зазором

На рисунках 5 и 6 представлены соответственно рабочие характеристики асинхронного двигателя с массивным ротором при стандартном и увеличенном зазоре.

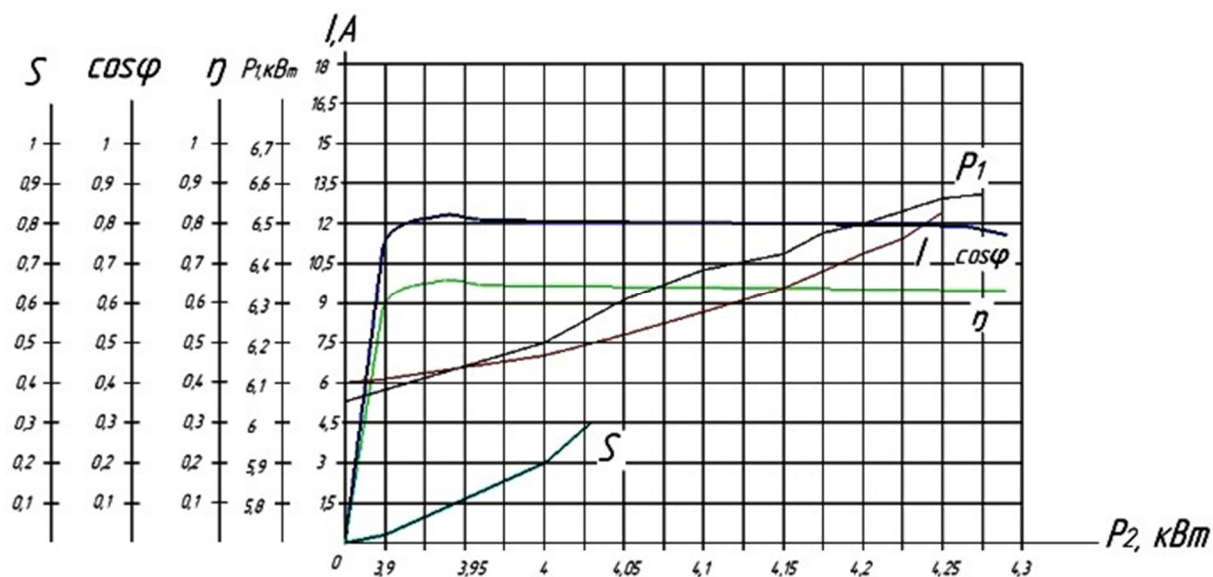


Рисунок 5 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя с массивным ротором со стандартным зазором

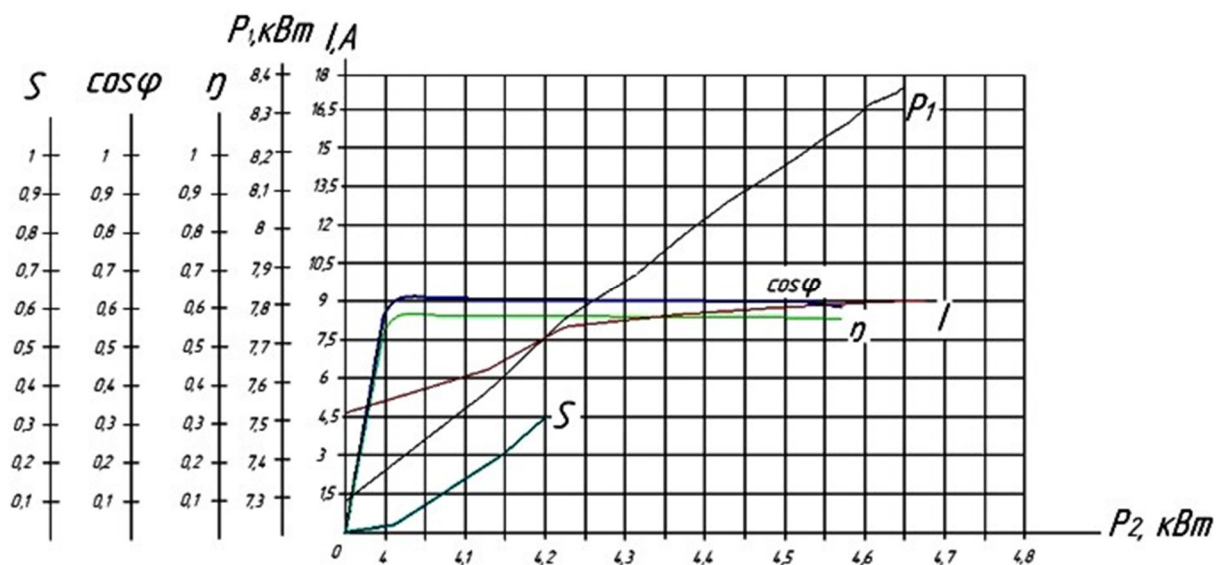


Рисунок 6 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя с массивным ротором с увеличенным зазором

Проанализировав рабочие характеристики, можно сделать следующие выводы:

- увеличение воздушного зазора относительно стандартного значения приводит к ухудшению рабочих характеристик;
- рабочие характеристики асинхронного двигателя с массивным ротором имеют более низкие показатели, чем у асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

В дальнейшем представляется целесообразным проведение исследований для улучшения рабочих характеристик двигателя с массивным ротором с сохранением высоких показателей пускового момента и механической прочности. Также следует продолжать изыскания по оптимизации величины воздушного зазора, при которой повысятся рабочие характеристики, но не будет риска механического контакта между ротором и магнитопроводом статора.

Список литературы

1. Копылов И.П. Проектирование электрических машин : учебник для вузов / Под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.
2. Патент 2593626 Российская Федерация, МПК В04В 5/10, В03С 5/02, В01Д 17/06, В01Д 43/00, В04В 9/02. Установка для сепарирования нефти / Л.Е. Копелевич; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». № 2015110414/05, заявл. 23.03.2015, опубл. 10.08.2016.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб. : Питер, 2010. – 350 с.
4. Куцевалов В.М. Асинхронные и синхронные машины с массивными роторами. – М. : Энергия, 1980. – 160 с.
5. Гайтов Б.Х. Конструктивно-интегрированный частотно-управляемый электропривод : монография / Б.Х. Гайтов; Под ред. Б.Х. Гайтова. – 1-е изд. – Краснодар: Издательство филиал ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2011. – 230 с.

List of references

1. Kopylov I.P. Design of electrical machines : textbook for universities / Ed. I.P. Kopylova. – 4th ed., revised. and additional. – M. : Yurayt Publishing House, 2011. – 767 p.
2. Patent 2593626 Russian Federation, IPC B04B 5/10, B03C 5/02, B01D 17/06, B01D 43/00, B04B 9/02. Installation for oil separation / L.E. Kopelevich; applicant and patent holder FGBOU VO «Kuban State Technological University». № 2015110414/05, Appl. 03/23/2015, publ. 08/10/2016.
3. Voldek A.I. Electric cars. Alternating current machines : textbook for universities / A.I. Voldek, V.V. Popov. – SPb. : Peter, 2010. – 350 p.
4. Kutsevalov V.M. Asynchronous and synchronous machines with massive rotors. – M. : Energy, 1980. – 160 p.
5. Gaytov B.Kh. Structurally integrated frequency-controlled electric drive: monograph / Ed. B.Kh. Gaytov. – 1st ed. – Krasnodar : Publishing house branch of VUNTS VVS «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», 2011. – 230 p.

ГИБРИДНЫЕ ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–110 КВ

HYBRID PROTECTION OF ELECTRIC NETWORK ELEMENTS WITH VOLTAGE OF 35–110 KV

Коробейников Б.А.

доктор технических наук,
профессор кафедры ЭПП,
Кубанский государственный технологический университет

Сидоров Д.И.

кандидат технических наук,
доцент кафедры ЭПП,
Кубанский государственный технологический университет

Шкерета Э.Д.

аспирант кафедры ЭПП,
Кубанский государственный технологический университет
edik_shkereta@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены теоретические вопросы построения гибридных защит элементов электрической сети напряжением 35–110 кв. Показаны преимущества этих защит по сравнению с известными принципами построения релейной защиты в сети 35–110 кВ. Рассмотрены конструкции и принципы действия гибридных защит. Приведен анализ работы гибридных защит в нормальном и аварийном режимах системы электроснабжения.

Ключевые слова: релейная защита, гибридная защита, фильтр тока симметричных составляющих.

Korobeinikov B.A.

Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of EPP,
Kuban State Technological University

Sidorov D.I.

candidate of technical sciences,
Associate Professor of the Department of EPP,
Kuban State Technological University

Shkereda E.D.

Postgraduate Student of the EPP Department,
Kuban State Technological University
edik_shkereda@mail.ru

Annotation. The theoretical questions of construction of gi-hybrid protections of electric network elements of 35–110 kV are considered. The advantages of these protections in comparison with the known principles of relay protection construction in 35–110 kV network are shown. Designs and principles of operation of hybrid protections are considered. The work of hybrid protections in normal and emergency modes of power supply system is analyzed.

Keywords: relay protection, hybrid protection, current filter of symmetrical components.

Цифровизация сегодня стала ключевым трендом, оказывающим влиянием на все ключевые сферы жизни современной России. Современные технологии внедряются в привычные процессы и создают новые, ранее недоступные, возможности, и цифровая трансформация в электроэнергетике развивается сразу по нескольким направлениям. Одно из наиболее массовых и востребованных на текущий момент – это внедрение технологии цифровой или, как более правильно определять, высокоавтоматизированной подстанции с применением стандартов МЭК 61850.

Однако в настоящее время на объектах электросетевых компаний напряжением 110 кВ эксплуатируется порядка 75 % устройств РЗА на электромеханической базе, при этом электромеханическая релейная защита не имеет каких-либо принципиальных недостатков и способна обеспечить надежную работу энергетических объектов [1]. Они значительно более устойчивы к искусственным и естественным электромагнитным воздействиям [2], чем микропроцессорные устройства релейной защиты, могут работать при отсутствии оперативного питания, после воздействия сверхмощных искусственных импульсов [3], при которых все обычные МУРЗА будут попросту выведены из строя. Поэтому, по нашему мнению, необходимо уделять внимание разработке и освоению производства новых типов устройств РЗА.

Релейную защиту можно рассматривать как управляющую систему, которая в общем случае получает информацию о токах, напряжениях и состоянии коммутационных элементов в отдель-

ных пунктах ЭС. В результате обработки этой информации РЗ вырабатывает управляющие сигналы для выключателей (команды отключения или включения), а также различные сообщения, позволяющие фиксировать или анализировать процессы, протекающие в ЭС, и функционирование самой РЗ. Для правильной работы и формирования управляющих сигналов устройств РЗ необходимо точное получения исходных данных.

Одним из основных требований к релейной защите является *быстродействие*, способность релейной защиты отключать поврежденный участок сети с минимально возможной выдержкой времени. Наиболее распространёнными видами коротких замыканий в сети 110 кВ являются однофазные КЗ на землю, примерно 80 %, двухфазные КЗ, примерно 10 %, и двухфазные КЗ на землю, примерно 5 %. Для анализа несимметричных режимов работы сети используется метод симметричных составляющих. В основе метода лежит представление несимметричной трехфазной системы переменных (ЭДС, токов, напряжений и т.п.) в виде суммы трех симметричных систем, которые называются симметричными составляющими. Различают симметричные составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей, которые различаются порядком чередования фаз.

Наглядно видно, что при однофазном КЗ в сети 110 кВ преобладает ток нулевой последовательности.

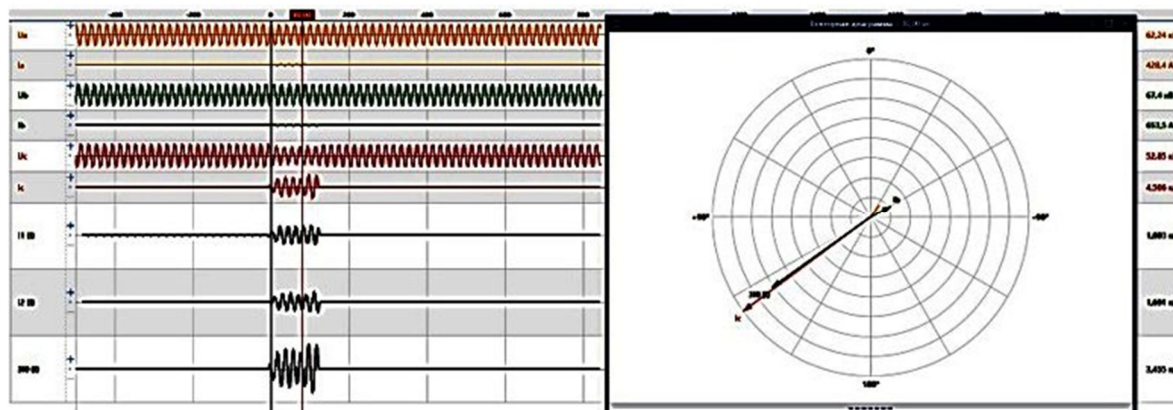


Рисунок 1 – Однофазное КЗ в сети 110 кВ

При двухфазном КЗ в сети 110 кВ преобладает ток обратной последовательности.

Существует множество устройств РЗ для ликвидации подобных несимметричных режимов работы сети, но на длинных линиях, питаемых мощной системой, а также на линиях с реактором, чувствительность этих устройств оказывается недостаточной.

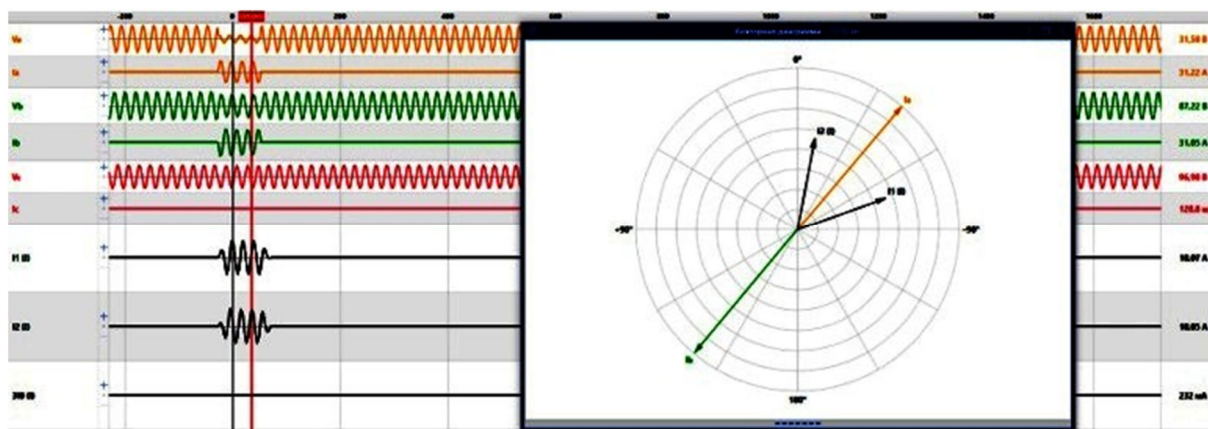


Рисунок 2 – Однофазное КЗ в сети 110 кВ

Таким образом, целесообразно разрабатывать защиту элементов электрической сети напряжением 35–110 кВ на новых принципах действия. Авторами предлагается при реконструкции или строительстве новых подстанций применять гибридную защиту, состоящую из комплекта микропроцессорного устройства РЗА III-й Архитектуры ЦПС и аналогичного комплекта электро-механического устройства РЗА для повышения надежности электроснабжения наиболее ответственных подстанций.

Список литературы

1. Гуревич В.И. Про релейную защиту 21 века. Размышления специалиста // PRO Электричество. – 2010. – № 4. – С. 26–31.
2. Гуревич В.И. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты // Компоненты и технологии. – 2010. – № 2. – С. 60–64; № 3. – С. 91–96; № 4. – С. 46–51.
3. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. – С. 280–283.
4. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах : учебник. Для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. – М. : Энергия, 1970.

List of references

1. Gurevich V.I. About relay protection of the 21st century. Reflections of a specialist // PRO Electricity. – 2010. – № 4. – P. 26–31.
2. Gurevich V.I. The problem of electromagnetic influences on microprocessor relay protection devices // Components and Technologies. – 2010. – № 2. – P. 60–64; № 3. – P. 91–96; № 4. – P. 46–51.
3. Fedoseev A.M. Relay protection of electrical systems. – P. 280–283.
4. Ulyanov S.A. Electromagnetic transients in electrical systems : textbook. For electrical and energy universities and faculties. – M. : Energy, 1970.

**АНАЛИЗ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ «ЛАДОЖСКАЯ»**

**ANALYSIS OF SELF-STARTING ELECTRIC MOTORS
OF OIL PUMPING STATION «LADOZHSKAYA»**

Коробейников Борис Андреевич

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

Оппаходжаев Алишер Максудович

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

Сидоров Дмитрий Игоревич

кандидат технических наук, доцент кафедры
электрообеспечения промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

Манукян Рубен Гургенович

студент кафедры
электрообеспечения промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

Пятунин Кирилл Евгеньевич

студент кафедры
электрообеспечения промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

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

Ключевые слова: асинхронный двигатель, математическая модель, самозапуск.

Korobeinikov Boris Andreevich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department
of Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Oppakhodzhaev Alisher Maksudovich

Senior Lecturer of Department
of Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University
alisher.o.m@gmail.com

Sidorov Dmitry Igorevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Manukyan Ruben Gurgenovich

Student of the Department of Power Supply
of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Pyatunin Kirill Evgenievich

Student of the Department of Power Supply
of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Annotation. In connection with the widespread use of high-power synchronous and asynchronous electric motors in the oil industry, it became necessary to ensure their stable operation in emergency situations in the power supply system.

Keywords: asynchronous engine, mathematical model, self-starting.

Нагрузкой НПС являются асинхронные двигатели [1, 2, 3, 4] типа 4А3МВ-1-1600. В работе находятся два асинхронных двигателя, а один в резерве.

Для режима самозапуска [5, 6, 7, 8, 9] рассматривался наиболее тяжёлый режим работы двигателей при потере питания со стороны подстанции «Ладожская» и переходе на питание со стороны подстанции «Геймановская». При этом от трансформатора Т2 питаются два двигателя, а со стороны трансформатора Т1 расположен резервный двигатель без питания. Причиной потери питания счи-

тается возникновение трёхфазного короткого замыкания [10, 11, 12, 13, 14] на выводах трансформатора Т2 со стороны высокого напряжения. Время действия АВР принималось 0,5 с при уставке срабатывания 2,4 кВ. Общее время перерыва питания с учётом времени срабатывания выключателей составило 0,8 с.

На рисунке 1 приведено изменение напряжения фазы А I секции шин при самозапуске двух асинхронных двигателей.

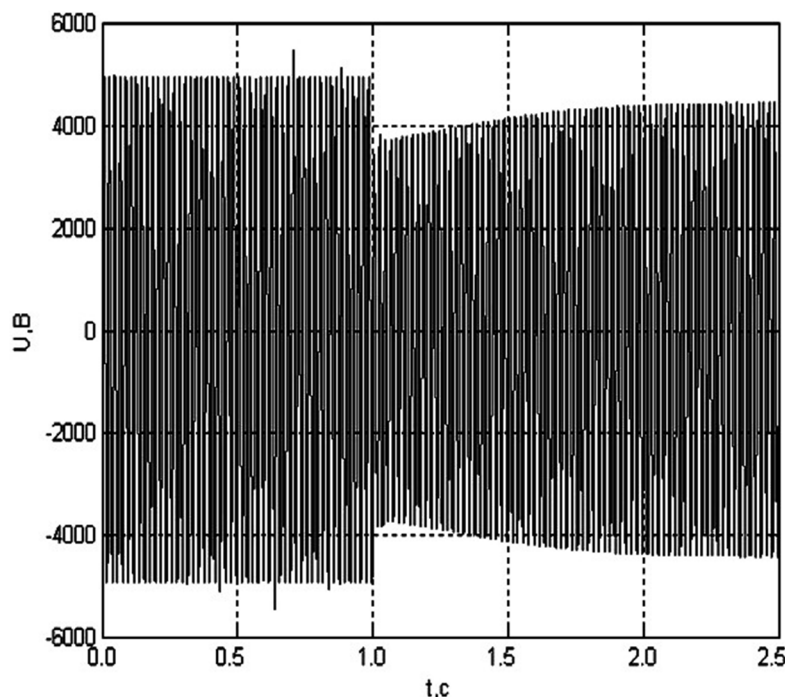


Рисунок 1 – Изменение напряжения фазы А при самозапуске двигателей на НПС «Ладожская»

Восстановления нормальной работы происходит через 1,9 с после возникновения короткого замыкания. Напряжение в начале самозапуска уменьшается на 31 %.

Таким образом, режим самозапуска электродвигателей на НПС «Ладожская» обеспечивается. Уставки срабатывания для релейной защиты [15, 16, 17, 18, 19] пс 35/6 кВ и КРУ – 6 кВ также обеспечивают отстройки от наиболее тяжёлого режима самозапуска.

Список литературы

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

2. Коробейников Б.А. Моделирование пуска двигателя серии 4А3М при пониженном напряжении сети в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников, А.М. Оппаходжаев, Д.И. Сидоров // Наука. Новое поколение. Успех: материалы II Международной научно-практической конференции : в 2 т., Краснодар, 17 апреля 2021 года. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 1. – С. 320–323.
3. Математическая модель многофазного измерительного преобразователя в матричном виде / Б.А. Коробейников [и др.] // Наука. Новое поколение. Успех : материалы II Международной научно-практической конференции : в 2 т., Краснодар, 17 апреля 2021 года. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – Т. 1. – С. 336–339.
4. Vector Simulation of Deep-Bar Induction Motor / B.A. Korobeynikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Journal of Physics: Conference Series, Vladivostok, 07–08 октября 2021 года. – Vladivostok, 2021. – P. 012100.
5. Коробейников Б.А. Обобщенная математическая модель однофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем / Б.А. Коробейников, Д.И. Сидоров, А.М. Оппаходжаев // Электроэнергетические комплексы и системы: Сборник научных статей. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2012. – С. 21–33.
6. Коробейников Б.А. Эксплуатация промежуточного измерительного преобразователя в режиме холостого хода / Б.А. Коробейников, А.М. Оппаходжаев, Д.И. Сидоров // Referatotech : Материалы Международной научно-практической конференции : в 3-х томах, Краснодар, 24 октября 2020 года. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – Т. 3. – С. 78–82.
7. Математическое моделирование автотрансформатора в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2021. – № 4. – С. 137–145.
8. Математическое моделирование синхронного двигателя в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2021. – № 5. – С. 78–87.
9. Математическое моделирование трехобмоточного трансформатора в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 1. – С. 36–41.
10. Математическое моделирование статических элементов системы электроснабжения в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 1. – С. 42–49.
11. Моделирование электромагнитных процессов при пуске двигателя ДАЗО4 в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Referatotech: материалы II Международной научно-практической конференции: в 2 т., Краснодар, 23 октября 2021 года. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 27–30.

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

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

14. Определение обобщенной корректирующей функции для группы асинхронных двигателей серии 4АЗМ / Б.А. Коробейников, А.М. Оппаходжаев, Д.И. Сидоров, Д.С. Белоусов // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции : в 2 т. Краснодар, 23 октября 2021 года. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 31–34.

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

16. Получение пусковых характеристик двигателя ДАЗО4 с использованием модели в координатах обобщенного вектора / Б.А. Коробейников [и др.] // Referatotech: материалы II Международной научно-практической конференции : в 2 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 23–26.

17. Коробейников Б.А. Реле тока на основе однофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем / Б.А. Коробейников, Д.И. Сидоров, Д.А. Литягин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2010. – № 2(154). – С. 67–69.

18. Захаров Г.А. Исследование влияния искажения входного сигнала тока на работу дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем / Г.А. Захаров, Д.И. Сидоров // Технические и технологические системы: Материалы седьмой международной научной конференции «ТТС-15». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – С. 117–120.

19. Патент № 2333562 С1 Российская Федерация, МПК Н01F 30/14, Н02М 5/14. Однофазный трансформатор с вращающимся магнитным полем: № 2007120825/09: заявл. 04.06.2007: опубл. 10.09.2008 / Б.А. Коробейников, Д.И. Сидоров; заявитель ГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет».

List of references

1. Korobeinikov B.A. Prospects for the use of mathematical models of power supply systems in the coordinates of a generalized vector / B.A. Korobeini-

kov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Science. New Generation. Success: Materials of the II International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, Krasnodar, April 17, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2021. – V. 1. – P. 324–327.

2. Korobeinikov B.A. Modeling of the engine start of the 4AZM series at a reduced network voltage in the coordinates of the generalized vector / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Science. New Generation. Success: Materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, April 17, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2021. – V. 1. – P. 320–323.

3. Mathematical model of a multiphase measuring transducer in matrix form / B.A. Korobeinikov [et al.] // Nauka. New Generation. Success: Materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, April 17, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2021. – V. 1. – P. 336–339.

4. Korobeinikov B.A. Vector Simulation of Deep-Bar Induction Motor / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Journal of Physics: Conference Series, Vladivostok, October 07–08, 2021. – Vladivostok, 2021. – P. 012100.

5. Korobeinikov B.A. Generalized mathematical model of a single-phase transformer with a rotating magnetic field / B.A. Korobeinikov, D.I. Sidorov, A.M. Oppakhodzhaev // Electric power complexes and systems: Collection of scientific articles. – Krasnodar : Kuban State Technological University, 2012. – P. 21–33.

6. Korobeinikov B.A. Operation of an intermediate measuring transducer in idle mode / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Referatotech: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: in 3 volumes, Krasnodar, October 24, 2020. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2020. – V. 3. – P. 78–82.

7. Mathematical modeling of an autotransformer in the coordinates of a generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubGTU». – 2021. – № 4. – P. 137–145.

8. Mathematical modeling of a synchronous motor in the coordinates of a generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubGTU». – 2021. – № 5. – P. 78–87.

9. Mathematical modeling of a three-winding transformer in the coordinates of a generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2022. – № 1. – P. 36–41.

10. Mathematical modeling of static elements of the power supply system in the coordinates of the generalized vector / B.A. Korobeinikov [and others] // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2022. – № 1. – P. 42–49.

11. Modeling of electromagnetic processes during the start of the DAZO4 engine in the coordinates of the generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Referatotech: Materials of the II International Scientific and Practical Confer-

ence : in 2 vol. Krasnodar, October 23, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 27–30.

12. Identification of the parameters of the mathematical model of the excitation controller type AC7B based on numerical experiment data / O.I. Chankaeva [et al.] // Referatotech: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes. Krasnodar, October 23, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 263–266.

13. Korobeinikov B.A. Vector modeling of oil pump engine start / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Referatotech: Materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, October 23, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 35–38.

14. Determination of a generalized corrective function for a group of asynchronous motors of the 4AZM series / B.A. Korobeinikov [et al.] // Referatotech: materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, October 23, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 31–34.

15. Mathematical model of a multiphase measuring transducer / B.A. Korobeinikov [et al.] // Nauka. New Generation. Success: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference: in 2 vol. Krasnodar, April 17, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2021. – V. 2. – P. 331–335.

16. Obtaining the starting characteristics of the DAZO4 engine using the model in the coordinates of the generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Referatotech: materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 23–26.

17. Korobeinikov B.A. Current relay based on a single-phase transformer with a rotating magnetic field / B.A. Korobeinikov, D.I. Sidorov, D.A. Lityagin // News of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical science. – 2010. – № 2(154). – P. 67–69.

18. Zakharov G.A. Study of the effect of current input signal distortion on the operation of a remote control based on converters with a rotating magnetic field / G.A. Zakharov, D.I. Sidorov // Technical and technological systems: Proceedings of the seventh international scientific conference «TTS-15». – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2015. – P. 117–120.

19. Patent № 2333562 C1 Russian Federation, IPC H01F 30/14, H02M 5/14. Single-phase transformer with a rotating magnetic field: № 2007120825/09: Appl. 06/04/2007: publ. 09/10/2008 / B.A. Korobeinikov, D.I. Sidorov; applicant GOU VPO «Kuban State Technological University».

**ПОЛУЧЕНИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
В КООРДИНАТАХ ОБОБЩЕННОГО ВЕКТОРА**

**OBTAINING THE FREQUENCY RESPONSE
OF AN INDUCTION MOTOR IN THE COORDINATES
OF A GENERALIZED VECTOR**

Коробейников Борис Андреевич

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

Оппаходжаев Алишер Максудович

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

Сидоров Дмитрий Игоревич

кандидат технических наук,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

Манукян Рубен Гургенович

студент кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

Пятунин Кирилл Евгеньевич

студент кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Используя выражение для перехода от фазной системы координат к координатам обобщенного вектора, можно получить компактную модель асинхронного двигателя в матричной форме. Представлен процесс получения частотных характеристик для глубокопазного асинхронного двигателя.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, частотная характеристика, математическая модель.

Korobeinikov Boris Andreevich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department
of Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Oppakhodzhaev Alisher Maksudovich

Senior Lecturer of the Department
of Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University
alisher.o.m@gmail.com

Sidorov Dmitry Igorevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Manukyan Ruben Gurgenevich

Student of the Department of Power Supply
of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Pyatunin Kirill Evgenievich

Student of the Department of Power Supply
of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Annotation. Using the expression for the transition from the phase coordinate system to the coordinates of the generalized vector, you can get a compact model of an induction motor in matrix form. The process of obtaining frequency characteristics for a deep-slot induction motor is presented.

Keywords: asynchronous motor, frequency characteristic, mathematical model.

Матричное уравнение состояния в частотной форме:

$$\vec{U}_F(j\omega) = \check{R}_F \cdot \vec{I}_F(j\omega) + j\omega \check{L}_F \cdot \vec{I}_F(j\omega) + j\omega_s \cdot \vec{L}_F \cdot \vec{I}_F(j\omega). \quad (1)$$

Уравнение (1) является неудобным для получения частотных характеристик [1, 2, 3, 4, 5], так как его необходимо преобразовать относительно величин:

$$U_s(j\omega) \text{ и } i_s(j\omega).$$

частотная характеристика для АД в координатах обобщенного вектора [6, 7, 8, 9 10] для любого числа контуров ротора определяется как:

$$W_F(j\omega) = \left\{ R_s + j(\omega + \omega_s)L_s + \left(\omega \check{L}_r^F + j\omega \check{Q}_r^F \right) \times \left[\check{R}_r^F + j\left(\omega L_r^F + \omega_s \check{Q}_r^F \right) \right]^{-1} \times \left(\omega \check{L}_{sr}^F + \omega_s \check{Q}_{rs}^F \right) \right\}^{-1} \quad (2)$$

Выражение (2) является сложным для практического использования, поэтому целесообразно рассматривать двухконтурные модели для широкополосных АД [11, 12, 13, 14, 15].

Пусть дан широкополосный асинхронный двигатель типа 2АЗМ-2000 со следующими параметрами в относительных единицах:

$$R_s = 0,00265; L_s = 0,00539; M = 0,0049;$$

$$R_{r1} = 0,06411; R_{r2} = 0,00847; L_{r1} = 0,004960; L_{r2} = 0,0051.$$

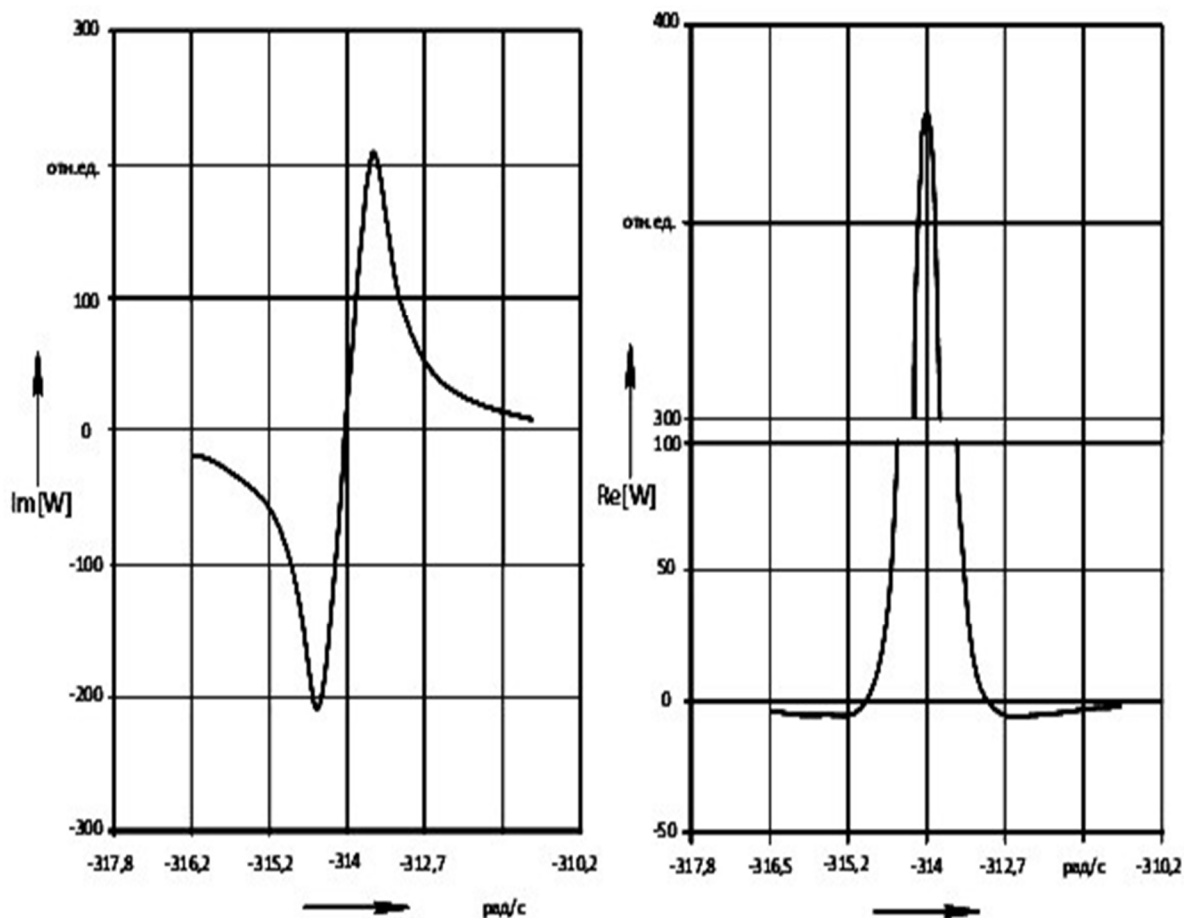


Рисунок 1 – Действительная и мнимая части частотной характеристики

для асинхронного двигателя 2АЗМ-2000 при скольжении $s = 1$

Используя выражения для частотной характеристики двухконтурной модели ротора асинхронного двигателя, можно получить действительную и мнимую часть.

Переходя в частотную область, получим следующее выражение для частотной характеристики двухконтурного двигателя [16, 17, 18, 19]:

$$W(j\omega) = \frac{Z_{r2}}{(Z_s - P_1 Q_2) \cdot Z_{r2} - P_1 P_2 (Q_2 - 1)}$$

Действительная и мнимая части данной характеристики представлены на рисунке 1.

Список литературы

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

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

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

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

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

6. Коробейников Б.А. Эксплуатация промежуточного измерительного преобразователя в режиме холостого хода / Б.А. Коробейников, А.М. Оппаходжаев, Д.И. Сидоров // Referatotech : Материалы Международной научно-практической конференции : в 3-х томах, Краснодар, 24 октября 2020 года. –

Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – Т. 3. – С. 78–82.

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

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

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

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

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

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

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

14. Определение обобщенной корректирующей функции для группы асинхронных двигателей серии 4АЗМ / Б.А. Коробейников, А.М. Оппаходжаев, Д.И. Сидоров, Д.С. Белоусов // Referatotech : материалы II Международной научно-практической конференции : в 2 т. Краснодар, 23 октября 2021 года. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 31–34.

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

16. Получение пусковых характеристик двигателя ДАЗО4 с использованием модели в координатах обобщенного вектора /

Б.А. Коробейников [и др.] // Referatotech: материалы II Международной научно-практической конференции : в 2 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – Т. 2. – С. 23–26.

17. Коробейников Б.А. Реле тока на основе однофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем / Б.А. Коробейников, Д.И. Сидоров, Д.А. Литягин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2010. – № 2(154). – С. 67–69.

18. Захаров Г.А. Исследование влияния искажения входного сигнала тока на работу дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем / Г.А. Захаров, Д.И. Сидоров // Технические и технологические системы: Материалы седьмой международной научной конференции «ТТС-15». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – С. 117–120.

19. Патент № 2333562 С1 Российская Федерация, МПК Н01F 30/14, Н02М 5/14. Однофазный трансформатор с вращающимся магнитным полем: № 2007120825/09: заявл. 04.06.2007: опубл. 10.09.2008 / Б.А. Коробейников, Д.И. Сидоров; заявитель ГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет».

List of references

1. Korobeinikov B.A. Prospects for the use of mathematical models of power supply systems in the coordinates of a generalized vector / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Science. New Generation. Success: Materials of the II International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, Krasnodar, April 17, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2021. – V. 1. – P. 324–327.

2. Korobeinikov B.A. Modeling of the engine start of the 4AZM series at a reduced network voltage in the coordinates of the generalized vector / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Science. New Generation. Success: Materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, April 17, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2021. – V. 1. – P. 320–323.

3. Mathematical model of a multiphase measuring transducer in matrix form / B.A. Korobeinikov [et al.] // Nauka. New Generation. Success: Materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, April 17, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2021. – V. 1. – P. 336–339.

4. Korobeinikov B.A. Vector Simulation of Deep-Bar Induction Motor / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Journal of Physics: Conference Series, Vladivostok, October 07–08, 2021. – Vladivostok, 2021. – P. 012100.

5. Korobeinikov B.A. Generalized mathematical model of a single-phase transformer with a rotating magnetic field / B.A. Korobeinikov, D.I. Sidorov, A.M. Oppakhodzhaev // Electric power complexes and systems: Collection of scientific articles. – Krasnodar : Kuban State Technological University, 2012. –

P. 21–33.

6. Korobeinikov B.A. Operation of an intermediate measuring transducer in idle mode / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Referatotech: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: in 3 volumes, Krasnodar, October 24, 2020. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2020. – V. 3. – P. 78–82.

7. Mathematical modeling of an autotransformer in the coordinates of a generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubGTU». – 2021. – № 4. – P. 137–145.

8. Mathematical modeling of a synchronous motor in the coordinates of a generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubGTU». – 2021. – № 5. – P. 78–87.

9. Mathematical modeling of a three-winding transformer in the coordinates of a generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2022. – № 1. – P. 36–41.

10. Mathematical modeling of static elements of the power supply system in the coordinates of the generalized vector / B.A. Korobeinikov [and others] // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2022. – № 1. – P. 42–49.

11. Modeling of electromagnetic processes during the start of the DAZO4 engine in the coordinates of the generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Referatotech: Materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, October 23, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 27–30.

12. Identification of the parameters of the mathematical model of the excitation controller type AC7B based on numerical experiment data / O.I. Chankaeva [et al.] // Referatotech: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes. Krasnodar, October 23, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 263–266.

13. Korobeinikov B.A. Vector modeling of oil pump engine start / B.A. Korobeinikov, A.M. Oppakhodzhaev, D.I. Sidorov // Referatotech: Materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, October 23, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 35–38.

14. Determination of a generalized corrective function for a group of asynchronous motors of the 4AZM series / B.A. Korobeinikov [et al.] // Referatotech: materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. Krasnodar, October 23, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 31–34.

15. Mathematical model of a multiphase measuring transducer / B.A. Korobeinikov [et al.] // Nauka. New Generation. Success: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference: in 2 vol. Krasnodar, April 17, 2021. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2021. – V. 2. – P. 331–335.

16. Obtaining the starting characteristics of the DAZO4 engine using the

model in the coordinates of the generalized vector / B.A. Korobeinikov [et al.] // Referatotech: materials of the II International Scientific and Practical Conference : in 2 vol. – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2022. – V. 2. – P. 23–26.

17. Korobeinikov B.A. Current relay based on a single-phase transformer with a rotating magnetic field / B.A. Korobeinikov, D.I. Sidorov, D.A. Lityagin // News of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical science. – 2010. – № 2(154). – P. 67–69.

18. Zakharov G.A. Study of the effect of current input signal distortion on the operation of a remote control based on converters with a rotating magnetic field / G.A. Zakharov, D.I. Sidorov // Technical and technological systems: Proceedings of the seventh international scientific conference «TTS-15». – Krasnodar : Izdatel'skiy Dom – Yug, 2015. – P. 117–120.

19. Patent № 2333562 C1 Russian Federation, IPC H01F 30/14, H02M 5/14. Single-phase transformer with a rotating magnetic field: № 2007120825/09: Appl. 06/04/2007: publ. 09/10/2008 / B.A. Korobeinikov, D.I. Sidorov; applicant GOU VPO «Kuban State Technological University».

**АНАЛИЗ ТЕПЛООБМЕНА
В МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

**ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN MICROELECTRONIC
DEVICES USING NANOTECHNOLOGY**

Королева Ю.В.

старший преподаватель,
Кубанский государственный технологический университет

Гринев Д.Д.

студент,
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Исследование использования нанотехнологий для улучшения теплообмена в микроэлектронных устройствах. Особое внимание уделяется роли наночастиц в повышении коэффициента теплоотдачи. Рассматриваются различные типы наножидкостей, включая те, основанные на углеродных нанотрубках. Отмечается перспективность использования нанотехнологий, при необходимости дальнейших исследований для оптимизации свойств наночастиц. Эта статья будет полезной для специалистов в области теплотехники, интересующихся применением нанотехнологий в охлаждении микроэлектроники.

Ключевые слова: теплообмен, микроэлектронные устройства, нанотехнологии, наножидкости, наночастицы, теплоотвод, перегрев, производительность.

Koroleva Yu.V.

Senior Lecturer,
Kuban State Technological University

Grinev D.D.

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. This scientific article explores the use of nanotechnology to improve heat transfer in microelectronic devices. Special attention

is paid to the role of nanoparticles in increasing the heat transfer coefficient. Various types of nanofluids are considered, including those based on carbon nanotubes. The authors note the prospects of using nanotechnology, but note the need for further research to optimize the properties of nanoparticles. This article will be useful for specialists in the field of thermal engineering interested in the use of nanotechnology in cooling microelectronics.

Keywords: heat transfer, microelectronic devices, nanotechnology, nanofluids, nanoparticles, heat sink, overheating, productivity.

В современных микроэлектронных устройствах, таких как процессоры, микросхемы и транзисторы, сталкиваются с проблемами, связанными с интенсивным выделением тепла из-за высокой плотности размещения элементов. Это вызывает проблемы с теплоотводом, перегревом и снижением производительности устройств. В свете этого, использование нанотехнологий, включая наножидкости, привлекает все большее внимание исследователей.

Одним из основных преимуществ жидкостного охлаждения по сравнению с воздушным является его улучшенная эффективность в области теплоотвода. Однако, даже эту систему можно улучшить, заменив обычную воду на наножидкость. Использование наножидкости, основанной на наночастицах, может дать дополнительные преимущества в улучшении процессов теплообмена в микроэлектронных устройствах [1].

Целью данного исследования является анализ влияния нанотехнологий на процессы теплообмена в микроэлектронных устройствах с использованием наножидкостей и наночастиц. Мы стремимся выявить преимущества и ограничения данного подхода, а также предложить рекомендации по оптимизации теплоотвода в микроэлектронных устройствах.

Наночастицы представляют собой частицы с характерными размерами от 1 до 100 нм, которые могут быть твердыми, жидкими или газообразными. В контексте теплообмена в микроэлектронных устройствах, наиболее распространены твердые наночастицы, такие как частицы химически устойчивых металлов и их оксидов. Их уменьшенный размер позволяет увеличить площадь контакта с окружающей средой, а высокая теплопроводность способствует эффективному теплоотводу от нагретых компонентов устройств к охлаждающей системе [2].

Использование наночастиц в составе наножидкостей предлагает значительные преимущества при охлаждении микроэлектронных устройств. Они способствуют увеличению эффективности теплоотвода благодаря увеличенной площади контакта и высокой теплопроводности. Однако, несмотря на эти преимущества, полный потенциал наночастиц в теплообмене до конца не изучен.

Использование наножидкостей для интенсификации теплообмена при постоянном числе Рейнольдса приводит к значительным результатам. Например, при добавлении одного процента наночастиц, коэффициент теплоотдачи увеличивается на более чем 40 % по сравнению с водой практически при любом значении Рейнольдса. Экспериментальные измерения подтверждают, что добавление наночастиц существенно повышает как локальные, так и средние коэффициенты теплоотдачи флюида. Более того, степень этого увеличения возрастает с ростом концентрации наночастиц.

В дополнение к вышеизложенному, использование наножидкостей для интенсификации теплообмена обладает несколькими значительными преимуществами.

Во-первых, наножидкости отличаются высокой стабильностью благодаря малому размеру наночастиц, которые равномерно распределяются в жидкой фазе на протяжении продолжительного времени, не оседая. Это явление усиливается благодаря действию Броуновского движения, способствующего увеличению стабильности суспензии.

Во-вторых, использование наножидкостей исключает проблемы засорения, поскольку наночастицы состоят из множества атомов и равномерно рассеяны в наножидкости. Такой состав позволяет использовать наножидкости в микроканалах, способствуя более эффективной теплопередаче путем комбинирования повышенной теплопроводности жидкости и повышенной температуры в области передачи.

В-третьих, наночастицы обладают низкой эрозивной способностью. Благодаря своему малому размеру и низкому импульсу, который характерен для них в отличие от микро- или макро- частиц, они передают меньше импульса и кинетической энергии твердым поверхностям. Такое поведение значительно снижает эрозию компонентов, например, в трубопроводах.

Существуют также наножидкости, которые основаны на углеродных нанотрубках. Они состоят из графеновых плоскостей,

свернутых в трубку и образующих полусферическую головку. Графен – это специальный тип углерода, который представляет собой двумерную структуру, состоящую из одного слоя атомов углерода, расположенных в плоскости и связанных между собой с помощью различных типов химических связей. Эти связи включают σ -связи и π -связи, и они формируют гексагональную кристаллическую решетку. Графен можно представить как отдельный слой графита, отделенный от объемного кристалла. Он обладает высокой механической прочностью и способностью проводить тепло, соответственно, около 1 ТПа и 5000 ватт на метр-кельвин [3].

Уникальность этих наножидкостей заключается в их диаметре, который может колебаться от нескольких нанометров до десятков, сотен и даже тысяч микрон. Можно использовать однослойные углеродные нанотрубки для производства наножидкости, потому что они обладают высокой теплопроводностью и способны формировать сетки с другими углеродными нанотрубками, что способствует повышению эффективности теплопередачи. Результаты исследований и экспериментов, проведенных в этой области, часто противоречивы. Хотя наночастицы демонстрируют свою эффективность в охлаждении, не всегда понятно, какие факторы и параметры могут оказывать наибольшее влияние на их поведение и воздействие на теплообмен [2, 4]. Также в системах, состоящих из двух компонентов, наблюдается интересное физическое явление, известное как термофорез. Под воздействием разности температур происходит перераспределение концентрации наночастиц в среде, при котором они направляются в область с более низкой температурой. Этот процесс обусловлен различием в тепловой подвижности и взаимодействиях частиц с окружающей средой при разных температурах.

Термофорез является активно изучаемым явлением в настоящее время. Его понимание имеет важное значение для контроля и манипулирования наночастицами в различных приложениях, включая биомедицинскую диагностику, микроэлектронику и энергетику. Исследования термофореза направлены на поиск новых способов управления концентрацией и местоположением наночастиц с помощью разнообразных методов, включая изменение температуры, формы и структуры окружающей среды, а также использование внешних полей и градиентов. Понимание механизмов и физических основ термофореза позволяет разрабатывать более эффективные и точные методы управления наноча-

стицами, открывая новые перспективы для развития современных технологий и научных исследований. Это означает, что необходимы дальнейшие исследования, чтобы лучше понять механизмы взаимодействия наночастиц с окружающей средой и разработать модели, которые позволят предсказывать и оптимизировать их свойства в контексте теплообмена [5].

Рассмотренные методы интенсификации теплообмена с использованием наночастиц являются актуальным объектом исследования в сфере теплоэнергетики. Однако, чтобы полностью раскрыть потенциал наночастиц в этой области, необходимо провести более глубокие исследования, которые позволят предсказывать и контролировать их свойства. Это позволит не только повысить эффективность теплоотвода в микроэлектронных устройствах, но и сделать внедрение нанотехнологий в область теплоэнергетики более перспективным и эффективным.

Таким образом, в данной научной статье мы рассмотрели использование нанотехнологий для анализа теплообмена в микроэлектронных устройствах. Особое внимание было уделено наночастицам, которые являются ключевыми элементами в создании наножидкостей. Мы обнаружили, что наночастицы способствуют интенсификации теплообмена и повышению коэффициента теплоотдачи в сравнении с обычными охлаждающими средами. Однако, несмотря на значительные преимущества использования наночастиц, важно отметить, что они до конца не изучены. Необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы более глубоко понять механизмы взаимодействия наночастиц с окружающей средой и оптимизировать их свойства для улучшения теплообмена в микроэлектронных устройствах.

Список литературы

1. Мурадян А.А. Наножидкость – новый способ эффективного охлаждения элементов компьютерных систем / А.А. Мурадян, В.Ю. Шашкин // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – 2021. – Т. 9. – № 1. – С. 75–77. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45658527>
2. Харисов И.Д. Применение нанотехнологий для интенсификации теплообмена / И.Д. Харисов, К.В. Осинцев // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – 2013. – Т. 1. – № 1. – С. 290–294. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21094259>

3. Наножидкости для охлаждения высокофорсированных теплоэнергетических установок / А.Н. Евдокимов [и др.] // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2014. – № 1. – С. 105–109. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21595407>

4. Комракова А.И. Нанотехнологии в интенсификации процессов теплообмена / А.И. Комракова, Н.Н. Каргаполова // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – 2015. – Т. 3. – № 1. – С. 122–125. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23384210>

5. Козлова С.В. Влияние термофореза наночастиц на теплопередачу в наножидкостях в условиях вынужденной конвекции при нагревании и охлаждении / С.В. Козлова, И.И. Рыжков // Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену, Москва, 27–31 октября 2014 года. – М. : Издательский дом МЭИ, 2014. – С. 953–956. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25105543>

List of references

1. Muradyan A.A. Nanofluid – a new way of effective cooling of elements of computer systems / A.A. Muradyan, V.Y. Shashkin // Energy and resource conservation in thermal power engineering and the social sphere: materials of the International Scientific and Technical Conference of Students, postgraduates, scientists. – 2021. – Vol. 9. – № 1. – P. 75–77. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45658527>

2. Kharisov I.D. Application of nanotechnologies for heat exchange intensification / I.D. Kharisov, K.V. Osintsev // Energy and resource conservation in heat power engineering and the social sphere: materials of the International Scientific and Technical Conference of students, postgraduates, scientists. – 2013. – Vol. 1. – № 1. – P. 290–294. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21094259>

3. Nanofluids for cooling high-powered thermal power plants / A.N. Evdokimov [et al.] // History and prospects of transport development in the north of Russia. – 2014. – № 1. – P. 105–109. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21595407>

4. Komrakova A.I. Nanotechnologies in the intensification of heat transfer processes / A.I. Komrakova, N.N. Kargapolova // Energy and resource conservation in thermal power engineering and the social sphere: materials of the International Scientific and Technical Conference of Students, postgraduates, scientists. – 2015. – Vol. 3. – № 1. – P. 122–125. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23384210>

5. Kozlova S.V. Influence of thermophoresis of nanoparticles on heat transfer in nanofluids under conditions of forced convection during heating and cooling / S.V. Kozlova, I.I. Ryzhkov // Proceedings of the Sixth Russian National Conference on Heat Exchange, Moscow, October 27–31, 2014. – М. : Publishing House of MEI, 2014. – P. 953–956. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25105543>

**МОДУЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА
РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НИЗКОДАВНОГО ГАЗА СЕПАРАЦИИ**

**PROCESS CYCLE MODULE FOR RATIONAL USE
OF LOW-PRESSURE SEPARATION GAS**

Корякин В.В.

ассистент кафедры
эксплуатации компрессорных станций и проектирования
оборудования магистрального транспорта газа,
Кубанский государственный технологический университет
v.koryakin@tgk.gazprom.ru

Сыроватка В.А.

кандидат технических наук, доцент,
и.о. заведующего базовой кафедры эксплуатации
компрессорных станций и проектирования оборудования
магистрального транспорта газа,
Кубанский государственный технологический университет
Sva2020gazprom@mail.ru

Тищенко О.И.

начальник центра филиала
учебно-производственного центра
ООО «Газпром трансгаз Краснодар»
o.tischenko@tgk.gazprom.ru

Сериков А.В.

начальник управления филиала
Березанского ЛПУМГ,
ООО «Газпром трансгаз Краснодар»
a.serikov@tgk.gazprom.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения технического предложения авторов – утилизация низконапорного газа сепарации с применением модуля технологического цикла рационального использования низконапорного газа сепарации для повышения эффективности работы адсорбционной установки подготовки и транспорта углеводородного газа. Утилизирован-

ный низконапорный газ, который сбрасывается на факел, может являться сырьевой базой для получения подготовленного газа и стабильного конденсата.

Ключевые слова: адсорбционная установка подготовки и транспорта углеводородного газа, низконапорный газ сепарации, блок компримирования, буферная емкость.

Koryakin V.V.

Department Assistant Operation of Compressor Stations
and Design Gas Pipeline Equipment,
Kuban State Technological University
v.koryakin@tgk.gazprom.ru

Syrovatka V.A.

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Acting head of the Basic Department of Operation
Compressor Stations and Equipment Design
Main Gas Transport,
Kuban State Technological University
Sva2020gazprom@mail.ru

Tishchenko O.I.

branch center manager training and production center
OOO Gazprom transgaz Krasnodar
o.tishchenko@tgk.gazprom.ru

Serikov A.V.

Head of Branch Department
Berezansky LPUMG,
OOO Gazprom transgaz Krasnodar
a.serikov@tgk.gazprom.ru

Annotation. The article considers the possibility of using
The technical proposal of the authors is the utilization of low-pressure
separation gas using the module of the technological cycle for the ra-
tional use of low-pressure separation gas to increase the efficiency of
the adsorption plant for the preparation and transport of hydrocarbon
gas. Utilized low-pressure gas, which is discharged to the flare, can be
a raw material base for obtaining treated gas and stable condensate.

Keywords: adsorption preparation plant and transport of hydrocarbon
gas, low-pressure separation gas, compression unit, buffer tank.

В газовой промышленности для обеспечения высокой ресурсоэффективности и технологической результативности подготовки и транспорта углеводородного газа выбор наилучших доступных технологий (НДТ) должен проводиться на основе эффективных технологических и технических решений.

Когда речь идет о повышении эксплуатационной эффективности в газовой промышленности, выбор технологии является важным фактором. Для удовлетворения стратегии снижения отвода факельных газов, поддержки комплексных систем по максимальной переработке углеводородного сырья, а также рационализации технологии подготовки и транспорта углеводородного газа необходимы специальные решения, относящиеся к НДТ [1].

Одним из перспективных направлений в области данных решений является утилизация факельного низконапорного газа сепарации с использованием НДТ, которая представлена в работе [2].

В работе [2] согласно рисунку 1 предлагается для утилизации низконапорного газа сепарации модуль технологического цикла рационального использования низконапорного газа сепарации при подготовке и транспорте углеводородного газа, с использованием блока компримирования и буферной емкости (выделены на схеме – рис. 1).

Установка буферной емкости на линии отвода сбросного низконапорного газа от сепаратора низкого давления стабилизирует давление на входе и работу установленного блока компримирования. Установка блока компримирования, вход которого соединен через линию отвода сбросного низконапорного газа от буферной емкости, а выход через линию подачи сбросного низконапорного газа от блока компримирования с линией подачи исходного газа на адсорбционную установку подготовки и транспорта углеводородного газа, обеспечит возможность отвода сбросного низконапорного газа сепарации на дополнительную утилизацию через адсорберы.

При дополнительной утилизации адсорбционным методом сбросной низконапорный газ дегазации совместно с исходным газом пройдет через слой адсорбента (силикогеля, цеолита и т.д.), что обеспечит его разделение на жидкие и газообразные углеводороды, с отводом последних в линию подготовленного газа. Тем самым добьются снижения потерь газообразных (C1...C4) и жид-

ких (C5+) углеводородных компонентов, сбрасываемых на факел от сепаратора низкого давления, что в целом обеспечит ресурсосбережение и экологичность.

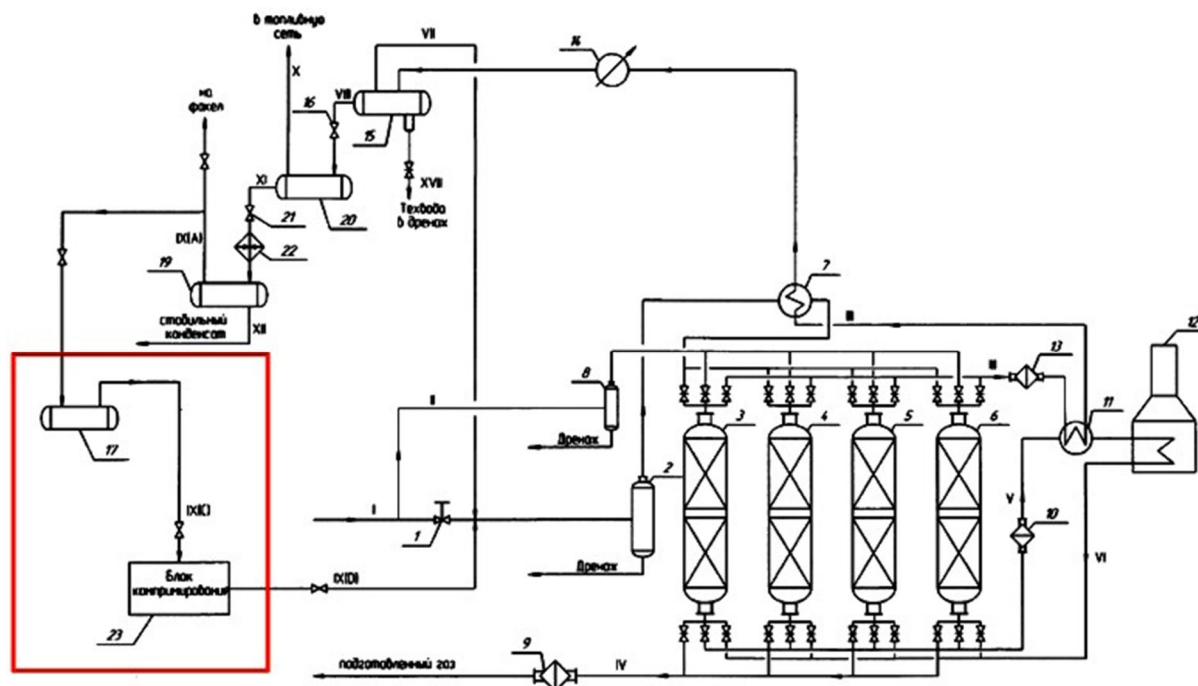


Рисунок 1 – Адсорбционная установка подготовки и транспорта углеводородного газа с модулем технологического цикла рационального использования низконапорного газа сепарации:

- 1 – регулирующий клапан, 2 – входной сепаратор, 3–6 – адсорберы, 7 – первый рекуперативный теплообменник, 8 – фильтр-сепаратор, 9 – первое фильтрующее устройство, 10 – второе фильтрующее устройство, 11 – второй рекуперативный теплообменник, 12 – технологическая печь, 13 – третье фильтрующее устройство, 14 – пропановый холодильник, 15 – сепаратор высокого давления, 16 – первый дроссель, 17 – буферная емкость, 19 – сепаратор низкого давления, 20 – сепаратор среднего давления 20 – второй дроссель, 21 – промежуточный подогреватель, 23 – блок компримирования.

Оптимальный режим работы адсорбционной установки подготовки и транспорта углеводородного газа при дополнительной утилизации низконапорных газов подбирают расчетным и опытным путем на каждом производстве газовой и нефтяной промышленности индивидуально в зависимости от состава, расхода и параметров исходного углеводородного газа, а также затрат на эксплуатацию.

Таким образом, совокупность предлагаемых признаков позволит обеспечить ресурсосбережение и экологическую безопас-

ность, вследствие снижения потерь газообразных (C1...C4) и жидких (C5+) углеводородных компонентов и дополнительной выработки подготовленного газа и конденсата, при утилизации сбросного низконапорного газа дегазации в адсорберах.

Список литературы

1. Сыроватка В.А. Сокращение эмиссии низконапорного газа сепарации на установке подготовки природного газа к транспорту / В.А. Сыроватка, И.А. Голубева // Нефтегазохимия. – 2022. – № 1–2. – С. 19.
2. Патент РФ № 2786012, Адсорбционная установка подготовки и транспорта углеводородного газа, МПК В01D 53/00, № 2021132019. Заявл. 01.11.2021, опуб. 15.12.2022, Бюл. № 35. С. 14.

List of references

1. Syrovatka V.A. Reducing the emission of low-pressure separation gas at a natural gas treatment plant for transport / V.A. Syrovatka, I.A. Golubeva // Oil and Gas Chemistry. – 2022. – № 1–2. – P. 19.
2. RF patent № 2786012, Adsorption unit for the preparation and transport of hydrocarbon gas, IPC B01D 53/00, № 2021132019. Appl. 11/01/2021, pub. 12/15/2022, Bull. № 35. P. 14.

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ КОНСОЛИДАЦИИ
В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ**

**ANALYSIS OF CONSOLIDATION PROCESSES
IN HETEROGENEOUS MEDIA**

Кочарян Евгений Валерьевич

доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
kocha99@mail.ru

Арушанян Рубен Рафаэлович

старший преподаватель
кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
rubenarushanyan@gmail.com

Шелест Никита Андреевич

студент 2 курса магистратуры
кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
shelest.nikita2018@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается физико-математическая модель, основанная на теории физики и статистики пористых твердых тел, для анализа процесса теплопроводности в нефтегазоносных горных породах.

Ключевые слова: теплопроводность, пористые твердые тела, математическая модель, нефтегазоносные горные породы

Kocharyan Evgeny Valerevich

Associate Professor of the Department
of Heat Power Engineering,
Kuban State Technological University
kocha99@mail.ru

Arushanyan Ruben Rafaelovich

Senior Lecturer of the Department
of Heat Power Engineering,
Kuban State Technological University
rubenarushanyan@gmail.com

Shelest Nikita Andreevich

2nd year Graduate Student
of the Department of Heat Power Engineering,
Kuban State Technological University
shelest.nikita2018@yandex.ru

Annotation. The article considers a physico-mathematical model based on the theory of physics and statistics of porous solids, for analyzing the heat conductivity process in oil and gas-bearing rocks.

Keywords: heat conductivity, porous solids, mathematical model, oil and gas-bearing rocks.

Для анализа процесса теплопроводности в нефтегазоносных горных породах, которые представляют собой многокомпонентную микронеоднородную среду, исследователи использовали гипотезу о том, что их структура может рассматриваться как совокупность взаимопроникающих перколяционных бесконечных кластеров, образованных из фаз одноименных компонентов, а также изолированных кластеров из элементов, не входящих в перколяционные кластеры. В эффективном коэффициенте теплопроводности такой среды учитываются объемные доли компонентов, соотношения их проводимостей и относительные проводимости перколяционных кластеров.

Физико-математическая модель такой среды была разработана на основе знания теории физики и статистики пористых твердых тел, определяющих структурно-топологическую характеристику относительных проводимостей перколяционных кластеров в различных областях. Для системы «флюид-флюид» в поровом пространстве было показано, как изменяется относительная проводимость в зависимости от влагосодержания и угла смачивания поверхности порового пространства. Отмечается, что относительная фазовая проницаемость и относительная проводимость перколяционных кластеров тождественны, что связано с подобием процессов переноса.

Полученные результаты качественно совпадают с известными экспериментальными данными и другими модельными зависимостями. Для подтверждения модели были использованы результаты экспериментов, проведенных на образцах осадочных пород месторождения Зыбза-Глубокий Яр.

Разработанная модель применима для различных типов структур микронеоднородных сред, учитывает различные механизмы процессов консолидации, включая те, которые связаны с поверхностными свойствами порового пространства.

Список литературы

1. Колесников Б.П. Проводимость «предельных» неоднородных систем // Технические и технологические системы : материалы II Международной научной конференции (ТТС-10), Краснодар, 07–09 октября 2010 года. – Краснодар : Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков, 2010. – С. 122–126.

2. Колесников Б.П. Математическая модель острова перколяционного кластера // Математика. Экономика. Образование / Ряды Фурье и их приложения / Математические модели и информационные технологии в науке и производстве: Тезисы докладов XXII Международной конференции, VIII Международного симпозиума, VII Междисциплинарного семинара, Новороссийск, 27 мая – 03 июня 2014 года Южный федеральный университет, 2014. – С. 82–86.

3. Серых Г.М. Проводимость гетерогенных материалов и выбор корректного образца / Г.М. Серых, Б.П. Колесников // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1984. – № 1(155). – С. 123–128.

4. Kolesnikov B.P. The percolation model of relative conductivities and phase permeabilities / B.P. Kolesnikov, R.R. Arushanyan // Journal of Physics: Conference Series: XII All Russian Conference «Thermophysics and Power Engineering in Academic Centers» (ТРЕАС 2021), Sochi, 25–27 октября 2021 года. Vol. 2150. – Sochi: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2022. – P. 012005.

5. Физико-математическое моделирование и экспериментальные исследования коэффициента теплопроводности нефтегазоносных горных пород / Б.П. Колесников [и др.] // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2022. – № 3(52). – С. 168–174.

List of references

1. Kolesnikov B.P. Conductivity of «limit» inhomogeneous systems // Technical and technological systems: Proceedings of the 2nd International Scientific Conference (TTS-10), Krasnodar, 07–09 October 2010. – Krasnodar : Krasnodar Higher Military Aviation School, 2010. – P. 122–126.

2. Kolesnikov B.P. Mathematical model of percolation cluster islands // Mathematics. Economics. Education / Fourier series and their applications / Mathematical models and information technologies in science and production: Abstracts of the XXII International Conference, VIII International Symposium, VII Interdisciplinary Seminar, Novorossiysk, 27 May – 03 June 2014. Southern Federal University, 2014. – P. 82–86.

3. Serykh G.M. Conductivity of heterogeneous materials and selection of correct samples / G.M. Serykh, B.P. Kolesnikov // Proceedings of higher educational institutions. Food technology. – 1984. – № 1(155). – P. 123–128.

4. Kolesnikov B.P. The percolation model of relative conductivities and phase permeabilities / B.P. Kolesnikov, R.R. Arushanyan // Journal of Physics: Conference Series: XII All Russian Conference «Thermophysics and Power Engineering in Academic Centers» (TPEAC 2021), Sochi, 25–27 October 2021. Vol. 2150. – Sochi: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2022. – P. 012005.

5. Physico-mathematical modeling and experimental studies of thermal conductivity coefficient of oil and gas-bearing rocks / B.P. Kolesnikov [et al.] // Scientific and Technical Collection Vesti Gas Science. – 2022. – № 3(52). – P. 168–174.

**ГИБРИДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРИ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ
ЕГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА**

**HYBRID CONTROL OF A PRECISION
ELECTRIC DRIVE WITH SMALL DISPLACEMENTS
OF ITS EXECUTIVE BODY**

Кушнаренко Андрей Петрович

Аспирант Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
energodraiv@yandex.ru

Аннотация. Гибридное управление прецизионным электроприводом при малых перемещениях его исполнительного органа

Ключевые слова: исполнительный орган, прецизионный электропривод, малые перемещения, гибридная диаграмма.

Kushnarenko Andrey Petrovich

Postgraduate Student of the Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
energodraiv@yandex.ru

Annotation. Hybrid control of a precision electric drive with small displacements of its executive body.

Keywords: executive body, precision electric drive, small displacements, hybrid diagram.

В статье [1] для управления прецизионным электроприводом разработаны оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения его исполнительного органа с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости.

В статье [2] исследованы энергетические характеристики программно-управляемого прецизионного электропривода при малых оптимальных по быстродействию перемещениях его исполнитель-

ного органа. Исследования показали, что при этом потребляется большое количество энергии. Поэтому предлагается при дефиците энергии использовать гибридное управление прецизионным электроприводом при перемещениях его исполнительного органа.

В монографии [3] предложена гибридная диаграмма для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода.

На рисунке 1 представлены механические координаты электропривода при отработке гибридной диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода. На рисунке приняты следующие обозначения: φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад; ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; $\omega^{(2)}$ – вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$; $\omega^{(3)}$ – третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$; t – время, с; $\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад; $\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад; ω_{max} – максимальное значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, рад/с; $\omega_{\text{max}}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; $\omega_{\text{доп}}^{(2)}$ – максимальное допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$; $\omega_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$. t_1 – длительность первого, третьего, пятого, седьмого, восьмого, десятого, двенадцатого и четырнадцатого этапов, с; t_2 – длительность второго, шестого,

девятого и тринадцатого этапов, с.; t_3 – длительность четвертого и одиннадцатого этапов, с.

Для рассматриваемой гибридной диаграммы справедливы уравнения:

$$\begin{aligned} C_M I_{\text{доп}} &= M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{max}}^{(1)}; \\ 0 &= M_{\text{CO}} - J \omega_{\text{max}}^{(1)}; \\ \omega_{\text{доп}}^{(2)} &= \omega_{\text{max}}^{(3)} t_1; \\ \omega_{\text{max}}^{(1)} &= \omega_{\text{доп}}^{(2)} (t_1 + t_2); \\ \omega_{\text{max}} &= \omega_{\text{max}}^{(1)} (2 t_1 + t_2 + t_3); \\ (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) &= \omega_{\text{max}} (4 t_1 + 2 t_2 + t_3) = \omega_{\text{max}}^{(1)} (2 t_1 + t_2 + t_3) (4 t_1 + 2 t_2 + t_3); \\ T_{\text{Ц}} &= 8 t_1 + 4 t_2 + 2 t_3. \end{aligned}$$

Из системы уравнений следует:

$$\begin{aligned} I_{\text{доп}} &= 2 \frac{M_{\text{CO}}}{C_M}; \\ \omega_{\text{max}}^{(1)} &= \frac{M_{\text{CO}}}{J}; \\ t_1 &= \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}; \\ t_2 &= \frac{\omega_{\text{max}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}; \\ t_3 &= \sqrt{\frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{max}}^{(1)}} + \frac{1}{4} (2 t_1 + t_2)^2} - \frac{3}{2} (2 t_1 + t_2). \end{aligned}$$

Система справедлива при условиях:

$$\varphi_{\text{гр.1}} \leq (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \leq \varphi_{\text{гр.2}},$$

где
$$\varphi_{\text{гр.1}} = 2 \omega_{\text{max}}^{(1)} (2 t_1 + t_2)^2 = 2 \omega_{\text{max}}^{(1)} \left[\frac{\omega_{\text{max}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}} \right]^2;$$

$$\varphi_{\text{гр.2}} = \omega_{\text{доп}} (4 t_1 + 2 t_2 + t_3) = \omega_{\text{доп}} \left[\frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{max}}^{(1)}} + \frac{\omega_{\text{max}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}} \right].$$

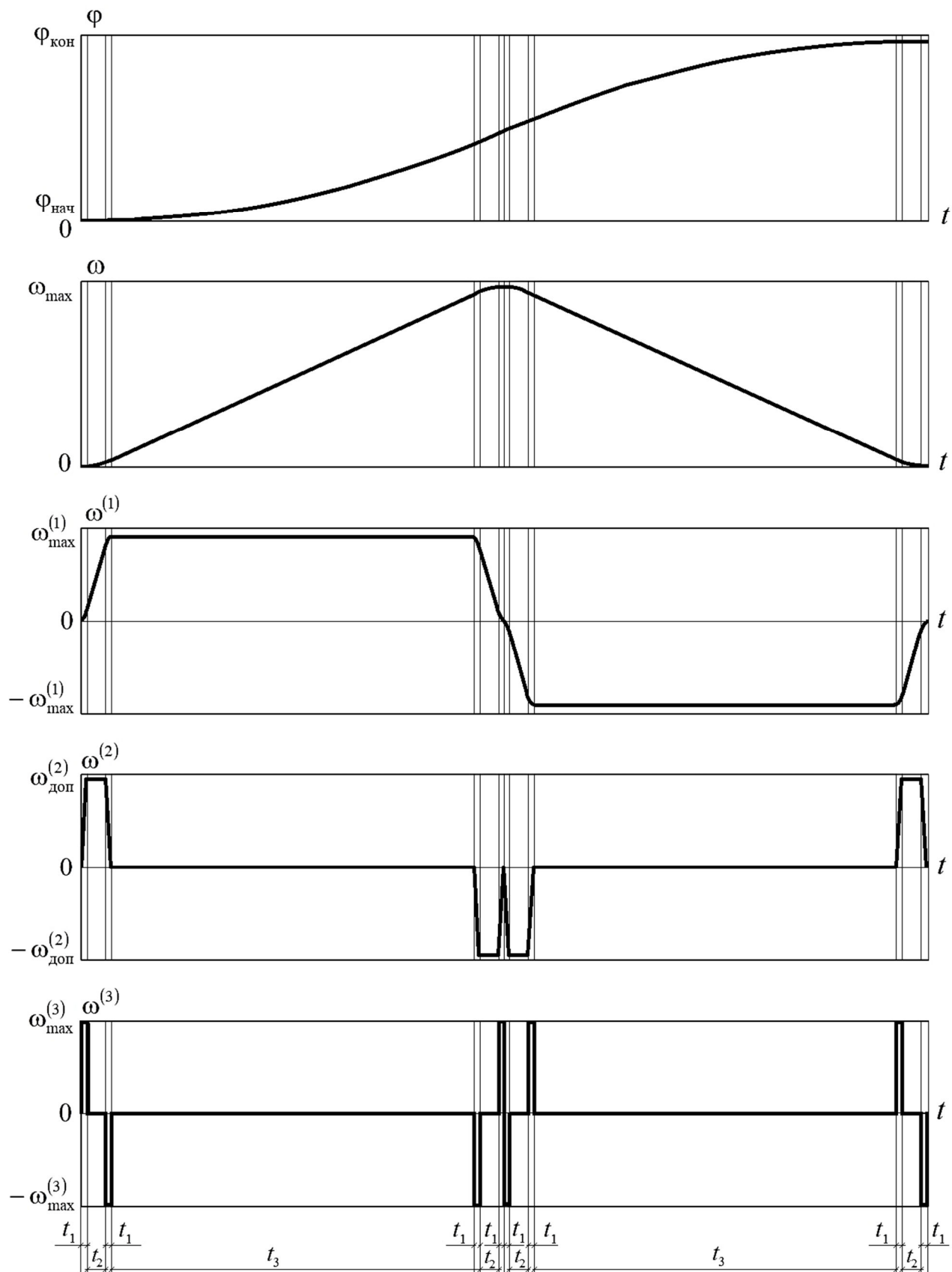


Рисунок 1 – Механические координаты электропривода при обработке гибридной диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода

Рассматриваемый электропривод имеет параметры:

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

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

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

При этом рассматриваемая диаграмма имеет параметры:

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

$$t_1 = 0,02 \text{ с};$$

$$t_2 = 0,08 \text{ с}.$$

Граничные значения угла поворота:

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

$$\varphi_{\text{гр.2}} = 275,2 \text{ рад}.$$

В статье [2] разработана методика определения энергии, расходуемой на перемещение исполнительного органа электропривода, энергии, запасенной при разгоне, тепловой энергии, потребляемой якорной цепью электропривода, а также электромагнитной энергии, запасаемой якорной цепью электропривода при увеличении тока и отдаваемой якорной цепью электропривода при уменьшении тока.

Энергия, расходуемая на реализацию перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода при отработке гибридной диаграммы для малых перемещений его исполнительного органа, определяется по формуле [3]:

$$W = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{\text{CO}} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}}^2 \cdot T_{\text{Ц}} + \\ + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot [\omega_{\text{доп}}^{(2)}]^2 \cdot \left(\frac{46}{15} t_1^3 + \frac{23}{3} t_1^2 t_2 + 6 t_1 t_2^2 + \frac{4}{3} t_2^3 + 2 t_1^2 t_3 + 4 t_1 t_2 t_3 + 2 t_2^2 t_3 \right).$$

Для электропривода с указанными параметрами определим значения времени t_3 , длительность цикла $T_{\text{ц}}$, максимального значения угловой скорости исполнительного органа электропривода ω_{max} для различных значений заданного перемещения исполнительного органа электропривода $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$ и энергию, потребляемую якорной цепью электропривода при переключениях.

Таблица 1 – Результаты первого численного эксперимента

$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}), \text{ рад}$	$t_3, \text{ с}$	$T_{\text{ц}}, \text{ с}$	$\omega_{\text{max}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$W, \text{ Дж}$
2,88	0	0,48	12	66,6
7,48	0,1	0,68	22	121,6
14,08	0,2	0,88	32	186,6
22,68	0,3	1,08	42	261,6
33,28	0,4	1,28	52	346,6
45,88	0,5	1,48	62	441,6
60,48	0,6	1,68	72	546,6
77,08	0,7	1,88	82	661,6
95,68	0,8	2,08	92	786,6
116,28	0,9	2,28	102	921,6
138,88	1	2,48	112	1066,6
163,48	1,1	2,68	122	1221,6
190,08	1,2	2,88	132	1386,6
218,68	1,3	3,08	142	1561,6
249,28	1,4	3,28	152	1746,6
275,2	1,48	3,44	160	1901,8

На рисунке 2 представлены электрические координаты электропривода при обработке гибридной диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода. На рисунке приняты следующие обозначения: U – напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, В; $I_{\text{я}}$ – ток якорной цепи электропривода, А; $I_{\text{я}}^{(1)}$ – первая производная тока якорной цепи электропривода, А/с; $U_{\text{доп}}$ – допустимое значение напряжения, приложенного к якорной цепи электропривода, В; $I_{\text{яmax}}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной тока якорной цепи электропривода, А/с; $I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электропривода, А; $R_{\text{я}}$ – сопротивление якорной цепи электропривода, Ом; $C_{\text{М}}$ – коэффициент пропорциональности между током и моментом двигателя, В · с; $M_{\text{СО}}$ – момент сопротивления электропривода, Н · м.

В монографии [3] представлена методика расчета мощности и энергии, потребляемой прецизионным электроприводом при малых перемещениях его исполнительного органа.

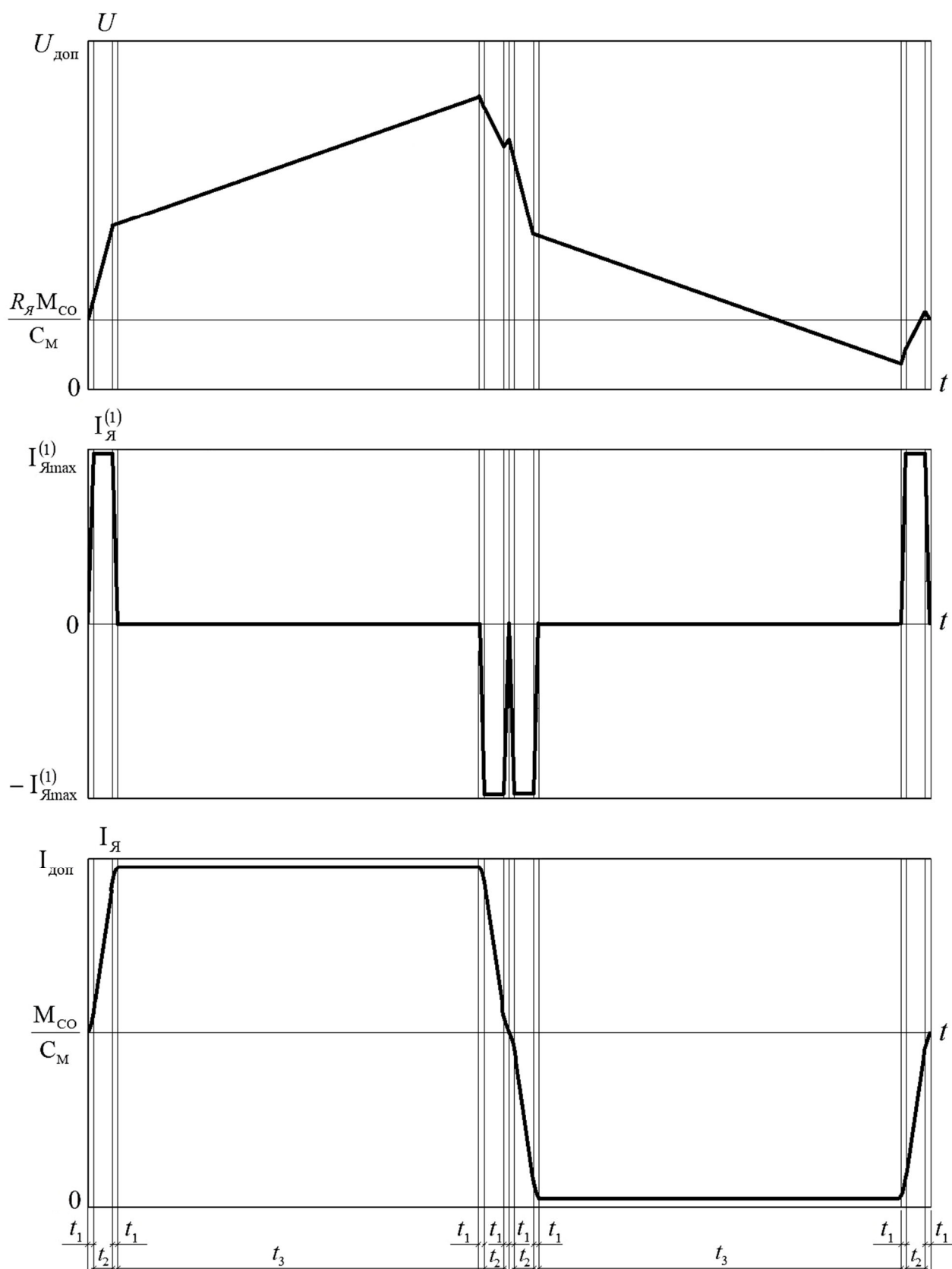


Рисунок 2 – Электрические координаты электропривода при обработке гибридной диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода

Определим показатели мощности, потребляемой прецизионным электроприводом с заданными параметрами при обработке гибридной диаграммы для малых перемещений его исполнительного органа в моменты переключений.

Мощность, потребляемая прецизионным электроприводом при обработке гибридной диаграммы для малых перемещений его исполнительного органа в моменты переключений, определяется по алгоритму:

$$I_{\text{Я}} = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{СО}} + J \omega^{(1)}];$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)} = \frac{J}{C_{\text{М}}} \cdot \omega^{(2)};$$

$$U = C_{\text{е}} \omega \cdot t + R_{\text{Я}} \cdot I_{\text{Я}} + L_{\text{Я}} \cdot I_{\text{Я}}^{(1)};$$

$$P = U \cdot I.$$

Таблица 2 – Результаты второго численного эксперимента

t, с	$\omega^{(i)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\varphi, \text{рад}$	$I_{\text{Я}}, \text{А}$	$I_{\text{Я}}^{(i)}, \frac{\text{А}}{\text{с}}$	U, В	P, Вт
0	0	0	0	4	0	20	80
0,02	10	0,067	0,0003	4,4	40	62,083	273,167
0,1	90	4,067	0,123	7,6	40	47,083	357,833
0,12	100	6	0,223	8	0	47,5	380
1,6	100	154	118,623	8	0	232,5	1860
1,62	90	155,933	118,242	7,6	-40	228,917	1739,767
1,7	10	159,933	128,599	4,4	-40	217,917	598,833
1,72	0	160	141,013	4	0	220	880
1,74	-10	159,933	140,8	3,6	40	213,917	770,1
1,82	-90	155,933	153,556	0,4	-40	192,917	77,167
1,84	-100	154	156,578	0	0	192,5	0
3,32	-100	6	274,977	0	0	7,5	0
3,34	-90	4,067	275,077	0,4	40	11,083	4,433
3,42	-10	0,067	275,199	3,6	40	22,083	79,5
3,44	0	0	275,2	4	0	20	80

Рассмотрим частный случай.

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

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

$$t_3 = 0,29 \text{ с} ; T_{\text{Ц}} = 1,06 \text{ с} ; \omega_{\text{мах}} = 41 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

При увеличении на 22 радиана поворота исполнительного органа электропривода за двенадцать этапов якорная цепь потребила 271,444 Дж для реализации оптимальной по быстродействию диаграммы.

При увеличении на 22 радиана поворота исполнительного органа электропривода за двенадцать этапов якорная цепь потребила 257,646 Дж для реализации гибридной диаграммы.

На основании полученных данных по потреблению энергии якорной цепью для реализации оптимальной по быстродействию, а также гибридной диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода, делаем вывод об эффективности гибридной диаграммы с точки зрения энергопотребления.

Список литературы

1. Добробаба Ю.П. Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости / Ю.П. Добробаба, А.П. Кушнарченко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 2. – С. 47–51.

2. Добробаба Ю.П. Исследование энергетических характеристик программно-управляемого прецизионного электропривода при малых перемещениях его исполнительного органа / Ю.П. Добробаба, А.П. Кушнарченко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 1. – С. 115–121.

3. Добробаба Ю.П. Энергоэффективный прецизионный позиционный электропривод постоянного тока : монография / Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, В.П. Синюк; ФГБОУ ВО «КубГТУ». – 2018. – С. 32–56.

List of references

1. Dobrobaba Yu.P. Optimal speed diagram of movement of the executive body of a precision electric drive with restrictions on the maximum current value, the second and third derivatives of the speed/ Yu.P. Dobrobaba, A.P. Kushnarenko // Nauka magazine. Technique. Technologies. – 2021. – № 2. – P. 47–51.

2. Dobrobaba Yu.P. Study of the energy characteristics of a program-controlled precision electric drive with small displacements of its executive body / Yu.P. Dobrobaba, A.P. Kushnarenko // Science magazine. Technique. Technologies. – 2021. – № 1. – P. 115–121.

3. Dobrobaba Yu.P. Energy-efficient precision positional DC electric drive : monograph / Yu.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, V.P. Sinyuk; FGBOU VO «KubSTU». – 2018. – P. 32–56.

ДОПОЛНЕНИЕ К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

ADDITION TO THE ISSUE OF SUSTAINABILITY OF THE ENERGY SYSTEM IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Ладенко Николай Васильевич

кандидат технических наук,
доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
lad-kolya@yandex.ru

Ефременко Дмитрий Алексеевич

студент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
efremenko444@gmail.com

Аннотация. Проблема надежного и устойчивого питания является одной из самых сложных для удаленных кустов. Это обусловлено не только безопасностью обслуживающего персонала, ведь никто не снимал вопросы, касающиеся энергобезопасности нашего государства. В связи с этим, с целью повышения надежности и автономности электроснабжения следует рассмотреть решения, связанные с альтернативными источниками энергии. Следует обратить внимание на работы, проводимые на кафедре электротехники и электрических машин КУБГТУ г. Краснодар. В большинстве этих трудов не освещены вопросы, касающиеся возможности объединения двух потоков энергии. Восполняя этот пробел, хочется заметить, что объединение двух потоков энергии затруднено, ввиду сложности математического аппарата машин (ДЭМ). Для ДЭМ большинство литературы говорит о их использовании, как о силовом канале. Наш коллектив приводит созданную машину с точки зрения управляемости в совокупности с другими источниками.

Ключевые слова: Возобновляемая энергетика, объединение потоков энергии, электрическая машина, нефтегазовая отрасль.

Ladenko Nikolay Vasilievich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Machines,
Kuban State Technological University
lad-kolya@yandex.ru

Efremenko Dmitry Alekseevich

Student of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Machines,
Kuban State Technological University
efremenko444@gmail.com

Annotation. The problem of reliable and sustainable nutrition is one of the most difficult for remote bushes. This is due not only to the safety of the service personnel, because no one has removed issues related to the energy security of our state. In this regard, in order to increase the reliability and autonomy of power supply, solutions related to alternative energy sources should be considered. Attention should be paid to the work carried out at the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines of KUBGTU, Krasnodar. Most of these works do not cover issues related to the possibility of combining two energy flows. Filling this gap, I would like to note that the unification of two energy flows is difficult, due to the complexity of the mathematical apparatus of machines (DEM). For DEM, most of the List of references talks about their use as a power channel. Our team cites the created car in terms of handling in conjunction with other sources.

Keywords: renewable energy, unification of energy flows, electric machine, oil and gas industry.

Все двухмерные генераторы, возможно внедряемые для обеспечения автономности регуляторами.

В системе присутствует автоматический регулятор якоря, напоминающий классические электрические машины, оптекаемый током, назовем его током якоря.

Пренебрегая математическими выкладками, можно признать, что:

$$\Delta E_{q,e} = k_B \Delta i_{B,B};$$

в свою очередь, $\Delta i_{B,B} = \frac{\Delta e}{R_e(1+T_e p)}$ или $\Delta E_{q,e} = \frac{k_e \Delta e}{1+T_e p}$.

Из аналогичных соображений записать:

$$\Delta e = \frac{k_y \Delta v}{1 + T_y p}; \Delta v = \frac{k_{и}(-U_{г})}{1 + T_{и} p}.$$

Очевидно, что:

$$\Delta E_{q,e} = \frac{k_0(-\Delta U_{г})}{(1+T_{и}p)(1+T_y p)(1+T_e p)} = \gamma(p)\Delta U_{г}.$$

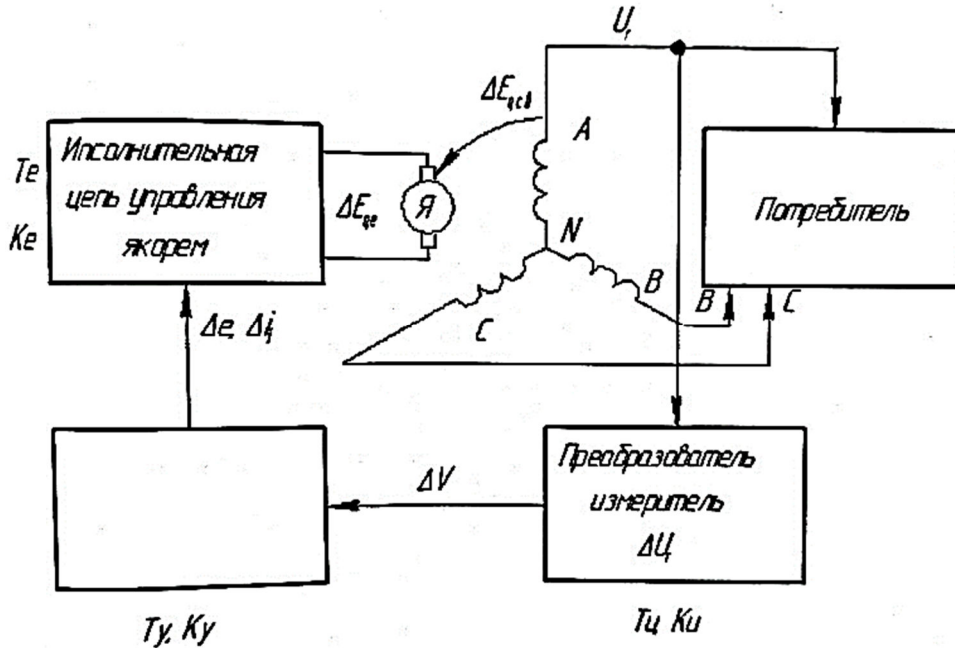


Рисунок 1 – Схема регулирования

Очевидно, в знаменателе находятся классические составляющие:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_0 = k_e k_y k_{и} \\ \gamma(p) = \frac{-k_0}{(1+T_{и}p)(1+T_y p)(1+T_e p)} \end{array} \right.$$

Во время сброса либо набора нагрузки скважинами, компрессорами или насосами происходит изменение режима работы в генерирующей ДЭМ. При переходном процессе в генераторе появится свободная Э.Д.С.:

$$E_{q_{св}} = -T_{d0} \Delta E'_q \text{ или } E_{q_{св}} = \xi(p) \Delta E'_q.$$

Все осложняется электромагнитными процессами, которые легко получить в ТОЭ. Упрощая выкладки и уйдя в операторную плоскость, можно написать для электромеханического переходного процесса, состоящего из свободной и вынужденной составляющих:

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} + P_d \frac{d\delta}{dt} = P_0 - P_{эл} = P_0 - P_m \sin \delta.$$

Одним из самых сложных определений является определение преобразования электромеханической энергии, это отражается коэффициентами, которые повторяются. Приведем простейшую систему уравнений по алгебраическим соображениям:

$$\begin{cases} [T_j p^2 + c_1(p)]\Delta\delta + b_1 \xi(p)\Delta E'_q + b_1 \gamma(p)\Delta U_r = 0; \\ [T_j p^2 + c_2(p)]\Delta\delta + b_2(p)\Delta E'_q + 0 = 0; \\ [T_j p^2 + c_2(p)]\Delta\delta + 0 + b_1 \Delta U_r = 0. \end{cases}$$

Здесь обозначено:

$$c_1(p) = c_1 + P_d p; \quad c_1 = \frac{dP_{E_q}}{d\delta}; \quad b_1 = \frac{dP_{E_q}}{E_q};$$

$$c_2(p) = c_2 + P_d p; \quad c_2 = \frac{dP_{E'_q}}{d\delta}; \quad b_2 = \frac{dP_{E'_q}}{E'_q};$$

$$c_3(p) = c_3 + P_d p; \quad c_3 = \frac{dP_{U_r}}{d\delta}; \quad b_3 = \frac{dP_{U_r}}{E_q}.$$

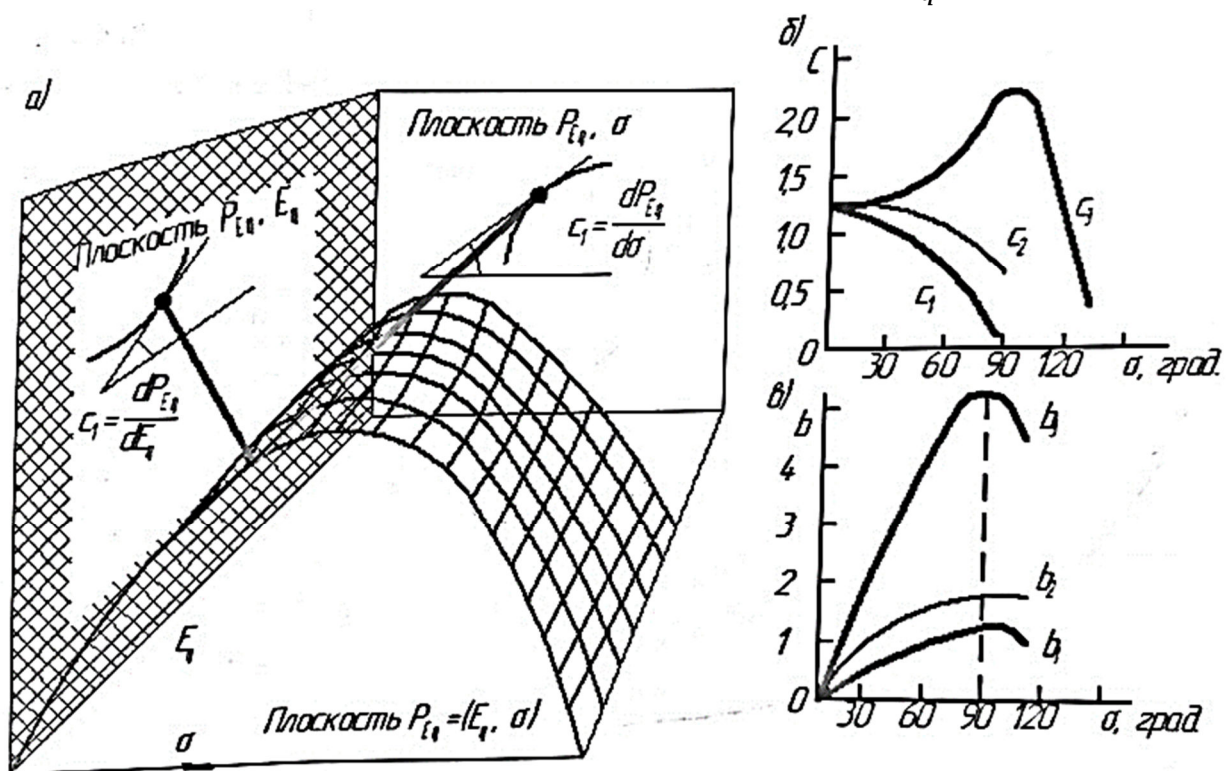


Рисунок 2 – Область устойчивости системы

Не опускаясь до алгебраических выводов, приведем возможность визуализации. По ним очевидно, районы устойчивости расширились во введении, указанном для получения выражения к общему знаменателю, и уравнив знаменатель, и вводя постоянную времени, мы получим уравнение шестого порядка:

$$\begin{aligned}
D(p) = & T_{\text{и}}T_{\text{y}}T_{\text{e}}T_{\text{j}}T'_{\text{d}}p^6 \\
& + [T_{\text{j}}T'_{\text{d}}(T_{\text{и}}T_{\text{y}} + T_{\text{и}}T_{\text{e}} + T_{\text{y}}T_{\text{e}}) + T_{\text{и}}T_{\text{y}}T_{\text{e}}(T_{\text{j}} + P_{\text{d}}T'_{\text{d}})]p^5 \\
& + [T_{\text{j}}T'_{\text{d}}(T_{\text{и}} + T_{\text{y}} + T_{\text{e}}) + (T_{\text{и}}T_{\text{y}} + T_{\text{и}}T_{\text{e}} + T_{\text{y}}T_{\text{e}})(T_{\text{y}} + P_{\text{d}}T'_{\text{d}}) \\
& + T_{\text{и}}T_{\text{y}}T_{\text{e}}(P_{\text{d}} + c_2T'_p)]p^4 \\
& + [T_{\text{j}}T'_{\text{d}} + (T_{\text{и}} + T_{\text{y}} + T_{\text{e}})(T_{\text{j}} + P_{\text{d}}T'_{\text{d}}) \\
& + (T_{\text{и}}T_{\text{y}} + T_{\text{и}}T_{\text{e}} + T_{\text{y}}T_{\text{e}})(P_{\text{d}} + c_2T'_d) + T_{\text{и}}T_{\text{y}}T_{\text{e}}c_1]p^3 \\
& + \left[T_{\text{j}} \left(1 + \frac{b_1}{b_3}k_{0U} \right) + P_{\text{d}}T'_d + (T_{\text{и}} + T_{\text{y}} + T_{\text{e}})(P_{\text{d}} + c_2T'_d) \right. \\
& \left. + (T_{\text{и}}T_{\text{y}} + T_{\text{и}}T_{\text{e}} + T_{\text{y}}T_{\text{e}})c_1 \right] p^2 \\
& + \left[P_{\text{d}} \left(1 + \frac{b_1}{b_3}k_{0U} \right) + c_2T'_d + (T_{\text{и}} + T_{\text{y}} + T_{\text{e}})c_1 \right] p \\
& + \left(c_1 + c_3 + \frac{b_1}{b_3}k_{0U} \right) = 0
\end{aligned}$$

Устойчивость данной системы проверяется обязательным критерием Гурвица и Михайлова. В нашей системе, которую не позволяют рассмотреть вживую, ввиду нескольких граней, можем привести пример. Они восходят к определителю минора Гурвица:

$$\Delta_1 = a_1; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

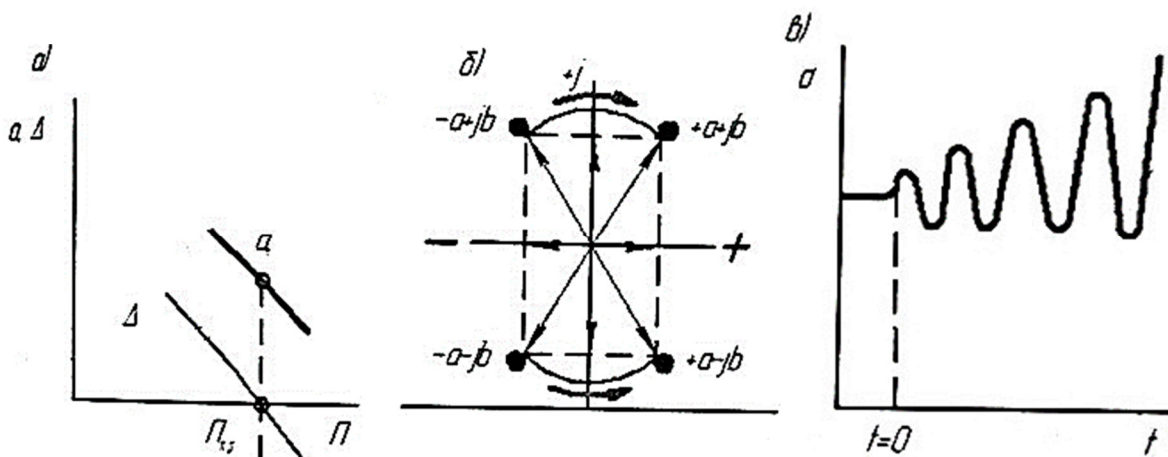


Рисунок 3 – Возникновение колебаний

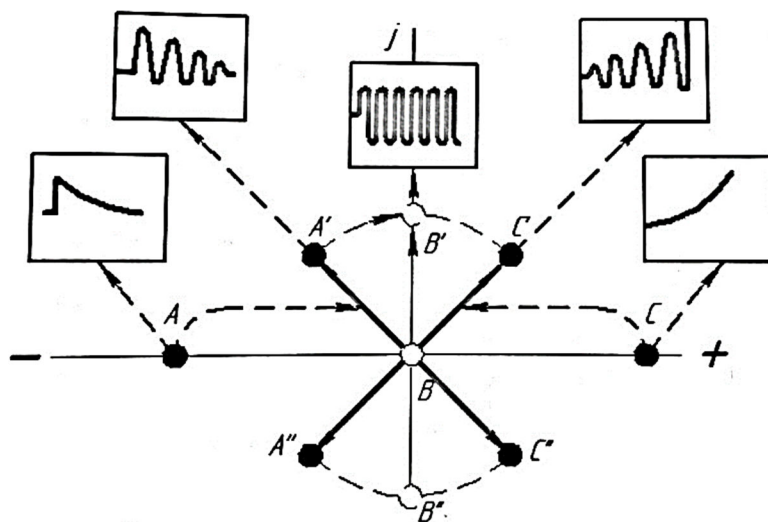


Рисунок 4 – Режим работы системы

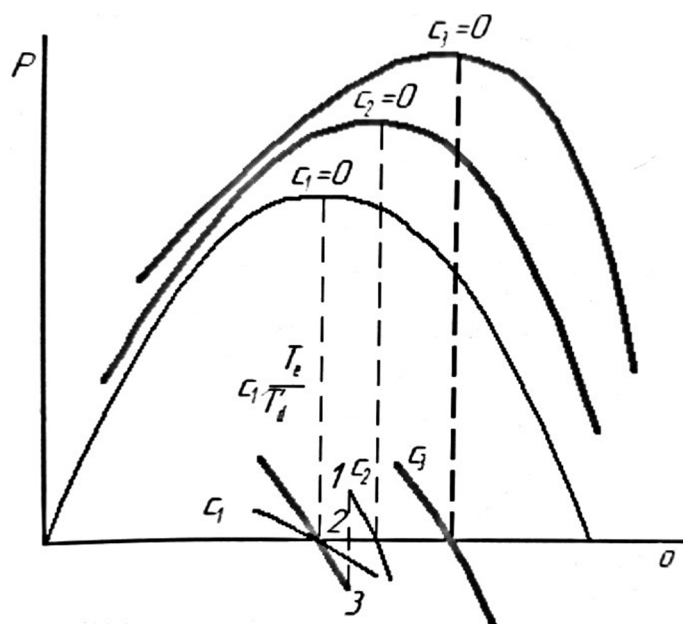


Рисунок 5 – Изменение мощности в системе

Следует провести определенный анализ, любой человек, знающий теорему «Об активном двухполюснике», имеет возможность сделать выводы.

В этом классе формулировок оказывается только небольшой класс возможностей применения систем такого класса.

Список литературы

1. Сибикин Ю.Д. Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности. – Кн. 1: Оборудование систем электроснабжения : учебник. – М. : ИП РадиоСофт, 2015. – 352 с.
2. Ахмедов Р.В. Технология использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии // Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (Итоги науки и техники). – М. : ВИНТИ, 1978. – 213 с.

3. Самородов А.В. Построение системы автономного электроснабжения на базе двумерной электрической машины / А.В. Самородов, Б.Х. Гайтов, Т.Б. Гайтова // Сб. тезисов докладов международной Н-Т конф. «Электротехника, электромеханика и электротехнология» МКЭЭ-2000. – М. : Изд-во МЭИ 2000. – С. 252–253.
4. Гайтова Т.Б. Электромагнитные соотношения в специальных электрических машинах нетрадиционной энергетики // Труды КГАУ «Электрификация сельского производства». – Вып. 346 (374). – Краснодар, 1995. – С. 162–166.
5. Гайтова Т.Б. Электромеханические преобразователи и системы для нетрадиционной энергетики : дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 1997.
6. Копылов И.П. Электрические машины. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
7. Включение двухмерных машин на общую нагрузку / Н.В. Ладенко [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка № 1/87: Изд-во ООО «Типография ИД «Граница». – М., 2014. – С. 71–74.
8. Ладенко А.В. Работа звена постоянного тока силового канала ДЭМ-Г / А.В. Ладенко, Н.В. Ладенко, Т.А. Курашинов // Сборник научных трудов Международной научной конференции «Технические и технологические системы». – Краснодар, 2010. – С. 110–113.
9. Двухмерная электрическая машина для системы автономного электроснабжения / А.В. Самородов [и др.] // Сб. тезисов докладов Международной научной конф. «Электротехника, электромеханика и электротехнология» МКЭЭ-98. – М. : Изд-во МЭИ, 1998. – С. 266–267.

List of references

1. Sibikin Yu.D. Electrical equipment for the oil and gas industry. – Book. 1: Equipment for power supply systems : textbook. – М. : IP RadioSoft, 2015. – 352 p.
2. Akhmedov R.V. Technology of using non-traditional and renewable energy sources // Non-traditional and renewable energy sources (Itogi science and technology). – М. : VINITI, 1978. – 213 p.
3. Samorodov A.V. Construction of an autonomous power supply system based on a two-dimensional electric machine / A.V. Samorodov [et al.] // Collection of abstracts of the international NT conference «Electrical engineering, electromechanics and electrotechnology» МКЭЭ-2000. – М. : MPEI Publishing House 2000. – P. 252–253.
4. Gaitova T.B. Electromagnetic ratios in special electrical machines of non-traditional energy // Proceedings of KSAU «Electrification of rural production». – Iss. 346(374). – Krasnodar, 1995. – P. 162–166.
5. Gaitova T.B. Electromechanical converters and B-systems for unconventional energy : dis. ... for the degree of candidate of technical sciences. – Krasnodar, 1997.
6. Kopylov I.P. Electric machines. – М. : Energoatom-izdat, 1986. – 360 p.

7. Inclusion of two-dimensional machines for the total load / N.V. Ladenko [et al.] // Energy saving and water treatment № 1/87: Publishing House of LLC «Tipo-Graphia ID» Border. – M., 2014. – P. 71–74.

8. Ladenko A.V. Operation of the power DC link channel DEM-G / A.V. Ladenko, N.V. Ladenko, T.A. Kurashinov // Collection of scientific works of the International scientific conference «Technical and technological systems». – Krasnodar, 2010. – P. 110–113.

9. Two-dimensional electric machine for an autonomous power supply system / A.V. Samorodov, B.Kh. Gaitova, F.M. Aridi, B.T. Elmutaz // Collection of abstracts of reports of the International Scientific Conf. «Electrical engineering, electromechanics and electrotechnology» MKEE-98. – M. : MPEI Publishing House, 1998. – P. 266–267.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛЯНО-КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ СКВАЖИН

FORECAST EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF HYDROCLIC ACID WELL TREATMENT

Лукманов Радмир Рустамович

магистр кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
lukmanov_radmir@inbox.ru

Гиляев Гани Гайсинович

доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
gggilaev@gmail.com

Гиляев Руслан Ганиевич

Кандидат технических наук,
Главный инженер, АО «Самотлорнефтегаз»,

Аннотация. Кислотное воздействие на пласт, сложенный карбонатными породами, является одним из наиболее распространенных методов интенсификации притока к скважине, что обуславливается относительной простотой, дешевизной и высокой эффективностью процесса. Усовершенствовать процессы соляно-кислотного воздействия возможно посредством правильного, и обоснованного геолого-физическими характеристиками пласта, подбора параметров процесса. В данной статье рассмотрена методология прогнозирования и максимизации экономической эффективности кислотного воздействия, основанная на характеристиках конкретных скважин и параметров пласта [1].

Ключевые слова: соляно-кислотная обработка, призабойная зона скважины, скин-фактор, Daccord & Lenormand, экономический эффект, изменение дебита скважины.

Lukmanov Radmir Rustamovich

Master of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
lukmanov_radmir@inbox.ru

Gilaev Gani Gaisinovich

Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Oil and Gas Business
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
gggilaev@gmail.com

Gilaev Ruslan Ganievich

Candidate of Technical Sciences,
Chief Enginee, JSC «Samotlorneftegaz»,

Annotation. Acid treatment of a reservoir composed of carbonate rocks is one of the most common methods of well stimulation, which is due to the relative simplicity, low cost and high efficiency of the process. It is possible to improve the processes of hydrochloric acid treatment through the correct selection of process parameters, which is substantiated by the geological and physical characteristics of the formation. This article discusses the methodology for predicting and maximizing the economic efficiency of acid treatment, based on the characteristics of specific wells and reservoir parameters [1].

Keywords: hydrochloric acid treatment, wellbore zone, skin factor, Daccord & Lenormand, economic effect, change in well flow rate.

Необходимость проведения мероприятий по интенсификации притока нефти и газа добывающих или увеличению приемистости нагнетательных скважин обусловлена процессами ухудшения фильтрационных свойств призабойной зоны скважины (ПЗС). К этим процессам относятся первичное и вторичное вскрытия пласта, и, кроме того, состояние ПЗС ухудшается по мере эксплуатации скважины.

ПЗС – область пласта коллектора в непосредственной близости от зоны перфорации ствола скважины (около 2-х метров), где в процессе добычи возникают наибольшие градиенты давления, и которая наиболее всего подвержена процессам засорения

фильтрационных каналов, что в значительной степени определяет продуктивность скважины [2].

Один из методов количественной оценки загрязнения ПЗС – учет падения давления (дополнительное фильтрационное сопротивление), у стенок скважины в дополнение к перепаду, вызванному радиальным притоком к скважине. Дополнительный перепад давления («скин-эффект») можно количественно оценить с помощью безразмерного параметра «скин-фактор».

Важно сохранять состояние ПЗС в таком виде, чтобы дополнительно расходуемая энергия на преодоление доп. фильтрационного сопротивления была минимальна как при добыче скважинной продукции, так и при нагнетании жидкости в пласт.

Существует множество методов, позволяющих улучшить фильтрационные характеристики ПЗС, однако в данной статье мы рассмотрим соляно-кислотную обработку [3].

Обработки хлористоводородной кислотой применяют преимущественно для воздействия на карбонатные породы и породы, имеющие в своем составе карбонатные цементы. На эффективность СКО влияет множество факторов, среди которых основными являются химико-минералогический состав породы, свойства жидкости, насыщающей породу, пластовые температура и давление, объем и концентрация кислотного раствора, время реагирования кислоты с породой и т.д. Ввиду этого, переносить опыт кислотных обработок с одного месторождения на другие достаточно проблематично [4; 5]. Что касается проектирования и прогнозирования технологического и экономического эффектов от проведения СКО, то на данный момент существуют следующие подходы:

– Статистический: сбор статистических данных, создание зависимостей (аппроксимации) дебитов, обводненности, продуктивности после обработок от значений данных параметров до проведения мероприятия – этот вариант является наиболее упрощенным. Его недостаток в том, что он не учитывает химическую и физическую природу взаимодействия кислоты с породой;

- Моделирование мероприятия на основе секторной ГДМ;
- Проектирование на основе математических моделей [6; 7].

В данной статье мы рассмотрим один из методов математического моделирования, основанный на трудах немецких исследователей – Daccord & Lenormand, которые на основе теоретиче-

ских и практических экспериментов, вывели зависимость, позволяющую оценить величину изменения скин-фактора, в зависимости от объема кислотного раствора, кинетики и стехиометрии реакции растворения породы.

Поскольку мерой оценки проведения любого мероприятия служит экономический эффект, в основу модели положен чистый дисконтированный доход:

$$NPV = \Delta Q \cdot P - K \cdot V, \quad (1)$$

где ΔQ – объем дополнительно добытой нефти за счет проведения обработки, т; P – цена реализации нефти; V – объем кислотного раствора, затраченный на проведение операции; K – удельная стоимость мероприятия на единицу объема кислотного раствора.

Оптимизируемыми параметрами, в данном случае является объем кислотного раствора заданной концентрации, ввиду чего, для нахождения точки максимума функции NPV необходимо продифференцировать ее относительно объема кислотного раствора [8]:

$$\frac{dNPV}{dV} = \frac{d\Delta Q}{dV} \cdot P - \frac{dV}{dV} \cdot K = \frac{d\Delta Q}{dV} \cdot P - K. \quad (2)$$

Ключевой фактор, который влияет на производительность скважины после операции – скин-фактор, также зависит от объема прокачанного раствора, поэтому [9]:

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{d\Delta Q}{d\Delta S} \cdot \frac{d\Delta S}{dV}. \quad (3)$$

Объем дополнительно добытой нефти можем приблизительно оценить, предположив линейный характер снижения добычи:

$$\Delta Q = \frac{\Delta q \cdot \Delta t}{2}, \quad (4)$$

где Δq – прирост дебита скважины после операции, т/сут; Δt – предполагаемая продолжительность эффекта, сут.

Для оценки прироста дебита скважины, можем воспользоваться уравнением Дюпюи:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h \cdot \Delta P}{\mu_n \cdot b_n \cdot (\ln\left(\frac{R_K}{r_c}\right) + S_0)}, \quad (5)$$

$$q' = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h \cdot \Delta P}{\mu_H \cdot b_H \cdot (\ln(\frac{R_k}{r_c}) + S_0 + \Delta S)}, \quad (6)$$

где q и q' – дебиты скважины до и после проведения СКО соответственно, т/сут.; k – проницаемость в удаленной зоне пласта, м²; h – мощность пласта, м; μ_H – динамическая вязкость нефти, мПа·с; R_k – радиус контура питания, м; r_c – радиус скважины, м; ΔP – депрессия на пласт, Па; S_0 – скин-фактор до операции; ΔS – величина изменения скин-фактора за счет проведения операции.

Применяя следующие замены, получим:

$$\begin{aligned} A &= \frac{2\pi kh}{\mu_H b_H} \cdot \Delta P, \\ B &= \ln\left(\frac{R_k}{r_w}\right) + S_0, \\ \Delta q &= q' - q = \frac{A}{(B+\Delta S)} - \frac{A}{B} = \\ &= \frac{AB - A(B+\Delta S)}{(B+\Delta S)B} = \frac{-A\Delta S}{B(B+\Delta S)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Отсюда следует:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta Q}{d\Delta S} &= \left(\frac{-A\Delta S \Delta t}{2B(B+\Delta S)}\right) d\Delta S = \frac{-A\Delta t}{2B} \cdot \left(\frac{\Delta S}{B+\Delta S} d\Delta S\right) = \\ &= \frac{-A\Delta t}{2B} \cdot \frac{(B+\Delta S - \Delta S)}{(B+\Delta S)^2} = -\frac{A\Delta t}{2(B+\Delta S)^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

Для количественной оценки влияния СКО на ПЗС воспользуемся уравнением Daccord & Lenormand [10]:

$$\Delta S = -\frac{1}{d} \cdot \ln\left(1 + \frac{C \cdot A_c}{\pi \cdot m \cdot N_{Pe}^{\frac{1}{3}}} \cdot \frac{V}{h^3} \cdot \left(\frac{h}{r_w}\right)^d\right), \quad (9)$$

где d – фрактальная размерность (для известняков $d = 1,6$, для доломитов $d = 2,0$); $C = h^{2-d}b$ – коэффициент безразмерности; A_c – число насыщенности кислоты, д.ед; N_{Pe} – число Пекле; b – константа, равная $1,7 \cdot 10^4$; h – эффективная толщина пласта, м; m – пористость пласта, д.ед; r_w – радиус скважины, м.

Число насыщенности кислоты (или кислотное число) может быть рассчитано по следующей формуле:

$$A_c = \frac{m \cdot C}{\vartheta_j \cdot C_j},$$

где C – концентрация соляной кислоты в растворе, д.ед.; ϑ_j – стехиометрический коэффициент для кислоты j (значение берется по химической реакции), ед.; C_j – концентрация минерала j в породе, д.ед.; m – пористость породы коллектора, д. ед;

Число Пекле рассчитывается следующим образом:

$$N_{Pe} = \frac{q}{D \cdot h},$$

где q – темп закачки кислоты, $m^3/\text{сек}$; D – коэффициент диффузии, постоянный для определенной концентрации соляной кислоты и температуры, $m^2/\text{с}$ [1].

$$D = \left(D_0 \cdot \frac{0,0178 \cdot 10^{-4}}{273} \right) \cdot \frac{(273 + T_{пл})}{\nu},$$

где D_0 – коэффициент диффузии для соляной кислоты при $t = 0$ °С; ν – кинематическая вязкость воды, $m^2/\text{с}$.

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta S}{dV} = & -\frac{1}{d} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{C \cdot Ac}{\pi \cdot m \cdot N_{Pe}^3} \cdot \frac{V}{h^3} \cdot \left(\frac{h}{r_w} \right)^d \right)} \times \\ & \times \left(\frac{C \cdot Ac}{\pi \cdot m \cdot N_{Pe}^3} \cdot \frac{1}{h^3} \cdot \left(\frac{h}{r_w} \right)^d \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Примем замену [9]:

$$\begin{aligned} F = & \frac{C \cdot Ac}{\pi \cdot m \cdot N_{Pe}^3} \cdot \frac{1}{h^3} \cdot \left(\frac{h}{r_w} \right)^d, \\ \frac{\partial \Delta S}{\partial V} = & -\frac{1}{d} \cdot \frac{F}{(1 + F \cdot V)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Откуда имеем:

$$\begin{aligned} \frac{dNPV}{dV} = & \frac{A \Delta t}{2(B + \Delta S)^2} \cdot \frac{F}{d(1 + F \cdot V)} \cdot P - K, \\ \frac{dNPV}{dV} = & \frac{A \Delta t}{2\left(B - \frac{1}{d} \ln(1 + F \cdot V)\right)^2} \cdot \frac{F}{d(1 + F \cdot V)} \cdot P - K. \end{aligned} \quad (12)$$

Точку экстремума функции находим, приравнивая производную функции к нулю [8]:

$$\frac{A \Delta t}{2\left(B - \frac{1}{d} \ln(1 + F \cdot V)\right)^2} \cdot \frac{F}{d(1 + F \cdot V)} \cdot P - K = 0,$$

$$\frac{A\Delta t}{2\left(B - \frac{1}{d}\ln(1+F\cdot V)\right)^2} \cdot \frac{F}{d(1+F\cdot V)\cdot K} \cdot P = 1. \quad (13)$$

Примем замену:

$$L = \frac{A\cdot\Delta t\cdot F\cdot P}{2\cdot d\cdot K}.$$

Получим нелинейное уравнение:

$$\frac{L}{1+F\cdot V} = \left(B - \frac{1}{d}\ln(1 + F \cdot V)\right)^2. \quad (14)$$

Полученное уравнение лучше всего решать графическим способом. Решением уравнения будет точка пересечения двух функций:

$$f_1(V) = \frac{L}{1+F\cdot V},$$

$$f_2(V) = \left(B - \frac{1}{d}\ln(1 + F \cdot V)\right)^2.$$

Сущность мат. модели, как и процесса экспресс оценки эффекта от СКО сводится к следующему:

1. Поиск оптимального объема закачки кислотного раствора по уравнению (14).
2. Оценка изменения величины скин-фактора по уравнению (9).
3. Оценка изменения дебита скважины по уравнению (7).
4. Оценка экономического эффекта по уравнению (1).

Заключение: В статье был описан и рассмотрен один из возможных методов прогнозирования эффективности солянокислотных обработок. Основная часть работы – расчетная часть, была создана на основе трудов немецких ученых – Daccord & Lenormand. На основании выведенной ими формуле, а также формуле определения чистого дисконтированного дохода, была изложена методика по определению оптимального объема закачки кислотного раствора, для максимизации экономического эффекта от мероприятия.

Список литературы

1. Иванов С.И. Интенсификация притока нефти и газа к скважинам. – М. : Недра, 2006. – 566 с.
2. Гидродинамические исследования скважин / П.В. Мангазеев [и др.]. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 340 с.
3. Нефтяные залежи в карбонатных отложениях фаменского яруса самарской области: история открытия и перспективы поиска / Г.Г. Гиляев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 10. – С. 38–40.
4. Лядов Б.С. Способ обработки нагнетательных скважин / Б.С. Лядов, А.Т. Кошелев, Г.Г. Гиляев // Патент на изобретение RU 2131022 С1, 27.05.1999. Заявка № 98100577/03 от 13.01.1998.

5. Гилаев Г.Г. Внедрение новых технологий повышения эффективности работы скважин на месторождениях ОАО «НК «Роснефть» – Краснодарнефтегаз» / Г.Г. Гилаев, В.В. Горбунов, О.П. Генъ // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 8. – С. 86-89.
6. Повышение эффективности использования химических реагентов в ОАО «НК «Роснефть» / Г.Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 11. – С. 22–24.
7. Иконникова Л.Н., А.Б. Золотухин. Оценка эффективности мероприятий по интенсификации добычи нефти при соляно-кислотной обработке // Нефтепромысловое дело. – М. : ВНИИОЭНГ, 2019. – № 5. – Ч. 1. – С. 33–38.
8. Иконникова Л.Н. Применение исследований Daccord и Lenormand при проведении соляно-кислотной обработки // УПУ; IX международная 522молодежная научная конференция «Севергеозкотех-2008»: 2. – Ухта : УПУ, 2008. – С. 252–256.
9. Daccord G. Carbonate Acidizing: Toward a Quantitative Model of the Wormholing Phenomenon / G. Daccord, E. Touboul, R. Lenormand // SPE, Dowell Schlumberger. – 1988. – P. 27–30.

List of references

1. Ivanov S.I. Intensification of oil and gas flow to wells. – М. : Nedra, 2006. – 566 p.
2. Hydrodynamic studies of wells / P.V. Mangazeev [et al.]. – Tomsk : TPU Publishing House, 2004. – 340 p.
3. Oil deposits in the carbonate deposits of the Famennian stage of the Samara region: history of discovery and prospects for search / G.G. Gilaev [et al.] // Oil industry. – 2013. – № 10. – P. 38–40.
4. Lyadov B.S. Method for processing injection wells / B.S. Lyadov, A.T. Koshelev, G.G. Gilaev // Patent for invention RU 2131022 C1, May 27, 1999. Application № 98100577/03 dated 01/13/1998.
5. Gilaev G.G. Implementation of new technologies for improving the efficiency of wells at the fields of ОАО NK Rosneft-Krasnodarneftegaz / G.G. Gilaev, V.V. Gorbunov, O.P. Gen // Oil Industry. – 2005. – № 8. – P. 86-89.
6. Improving the efficiency of the use of chemical reagents in ОАО NK Rosneft / G.G. Gilaev [et al.] // Oil industry. – 2012. – № 11. – P. 22–24.
7. Ikonnikova L.N. Evaluation of the effectiveness of measures to intensify oil production during hydrochloric acid treatment / L.N. Ikonnikova, A.B. Zolotukhin // Oilfield business. – М. : VNIIOENG, 2019. – № 5. – Part 1. – P. 33–38.
8. Ikonnikova L.N. Application of Daccord and Lenormand research during hydrochloric acid treatment / L.N. Ikonnikova // UPU; IX international 522 youth scientific conference «Severgeozekotekh-2008»: 2. – Ukhta : UPU, 2008. – P. 252–256.
9. Daccord G. Carbonate Acidizing: Toward a Quantitative Model of the Wormholing Phenomenon / G. Daccord, E. Touboul, R. Lenormand // SPE, Dowell Schlumberger. – 1988. – P. 27–30.

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА СЕТЕВОГО
АКТИВНОГО (ФСА) С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ВЛ 6 КВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
УДАЛЕННЫХ ОТ ПИТАЮЩЕГО ФИДЕРА СКВАЖИН**

**APPLYING A NETWORK FILTER ACTIVE (FSA)
FOR THE PURPOSE OF REDUCING ELECTRICITY LOSS
IN 6 KV OVERHEAD LINES DURING OPERATION
OF WELLS REMOTE FROM THE SUPPLY FEEDER**

Медведев В.А., Антониади Д.Г.

кафедра Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,

Кубанский государственный технологический университет

Ульянов С.С., Хафизов В.М., Черепанов А.В., Гиладев Ген. Г.

отдел по повышению энергоэффективности
и энергосбережения,,

АО «Самаранефтегаз»

Аннотация. Чем дальше находится скважина от питающего фидера, тем больше вероятность ее остановки по причине потерь напряжения. Данная работа нацелена на решение данной проблемы, а именно улучшение работы сети и исключение потерь нефти при остановках скважин.

Ключевые слова: частотно-регулируемый привод, фильтр сетевой активный, станция управления, высшие гармонические составляющие, реактивная мощность.

Medvedev V.A., Antoniadis D.G.

Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Kuban State Technological University

Ulyanov S.S., Khafizov V.M., Cherepanov A.V., Giladev Gen. G.

Department for Energy Efficiency and Energy Saving,
Samaraneftegaz JSC,

Annotation. The farther the well is from the supply feeder, the more likely it is to stop due to voltage losses. This work is aimed at solving

this problem, namely, improving the operation of the network and eliminating oil losses during well shutdowns.

Keywords: variable frequency drive, active network filter, control station, higher harmonic components, reactive power.

Для управления УЭЦН на скважинах используются станции управления с частотно-регулируемым приводом (ЧРП). С учетом всех достоинств применения СУ с ЧРП, их использование несет с собой и минусы, связанные с гармоническими искажениями тока, которые засоряет электрические сети. Это приводит к увеличению потерь и снижению надежности работы оборудования. Увеличивается полный потребляемый ток в линиях, вместе с этим увеличиваются потери в питающих кабелях и трансформаторах, происходит дополнительный нагрев трансформаторов, а в электродвигателях действие высокочастотных составляющих напряжения приводит к снижению КПД за счет увеличения потерь в стали и обмотках двигателя. Из-за некачественного напряжения возможны и технологические сбои – например, устройства релейной защиты могут самопроизвольно изменять время включения или отключения, а моторные реле – даже изменять направление вращения, возможно необоснованное срабатывание автоматических выключателей и т.д.

Для борьбы с гармоническими искажениями применяется фильтр сетевой активный (ФСА).

Фильтр сетевой активный (ФСА) предназначен для эффективного снижения уровня высших гармонических составляющих (ВГС) 3-х фазного питающего напряжения станций управления с частотным преобразователем и для компенсации реактивной мощности, потребляемой нагрузкой.

Применение фильтра гармоник поможет избежать:

- Преждевременного старения оборудования, а как следствие – необходимости его замены раньше запланированного срока, если в нем с самого начала не был предусмотрен запас мощности.
- Перегрузок в распределительной сети, которые приводят к более высокому уровню потребления электроэнергии и увеличению потерь.
- Искажения формы кривой тока, способного вызвать ложное срабатывание автоматических выключателей, что может приводить к остановке производственного процесса.

ФСА представляет собой управляемый источник тока, подключаемый параллельно с нагрузкой, генерирующей ВГС. Активный сетевой фильтр в противофазе генерирует такие же ВГС, что и нагрузка, обеспечивая потребление нагрузкой питающей сети только тока первой гармоники (50 Гц) (рис. 1).



Рисунок 1 – Внешний вид и электрическая схема ФСА

Фильтр (ФСА) подключается между трансформаторной подстанцией и входом СУ с частотным преобразователем (рис. 2).

Специальной настройки и регулирования не требуется.



Рисунок 2 – Схема подключения ФСА

Рассмотрим эффективность применения ФСА на примере скважины № 54 Газельное месторождение так, как она имеет высокий дебит (155 м³/сут.) и находится на большой удаленности от питающего фидера (21 км) (рис. 3).

Фильтр сетевой активный (ФСА) размещается на площадке скважины (рис. 4).

В таблице 1 представлены энергетические параметры работы скважины до и после внедрения ФСА.

При внедрении ФСА выявлены следующие результаты:

- снижены токи нагрузки на 6,4 %;
- обеспечена компенсация реактивной мощности непосредственно на потребителе;
- снизилось энергопотребление скважины на 14,7 %.

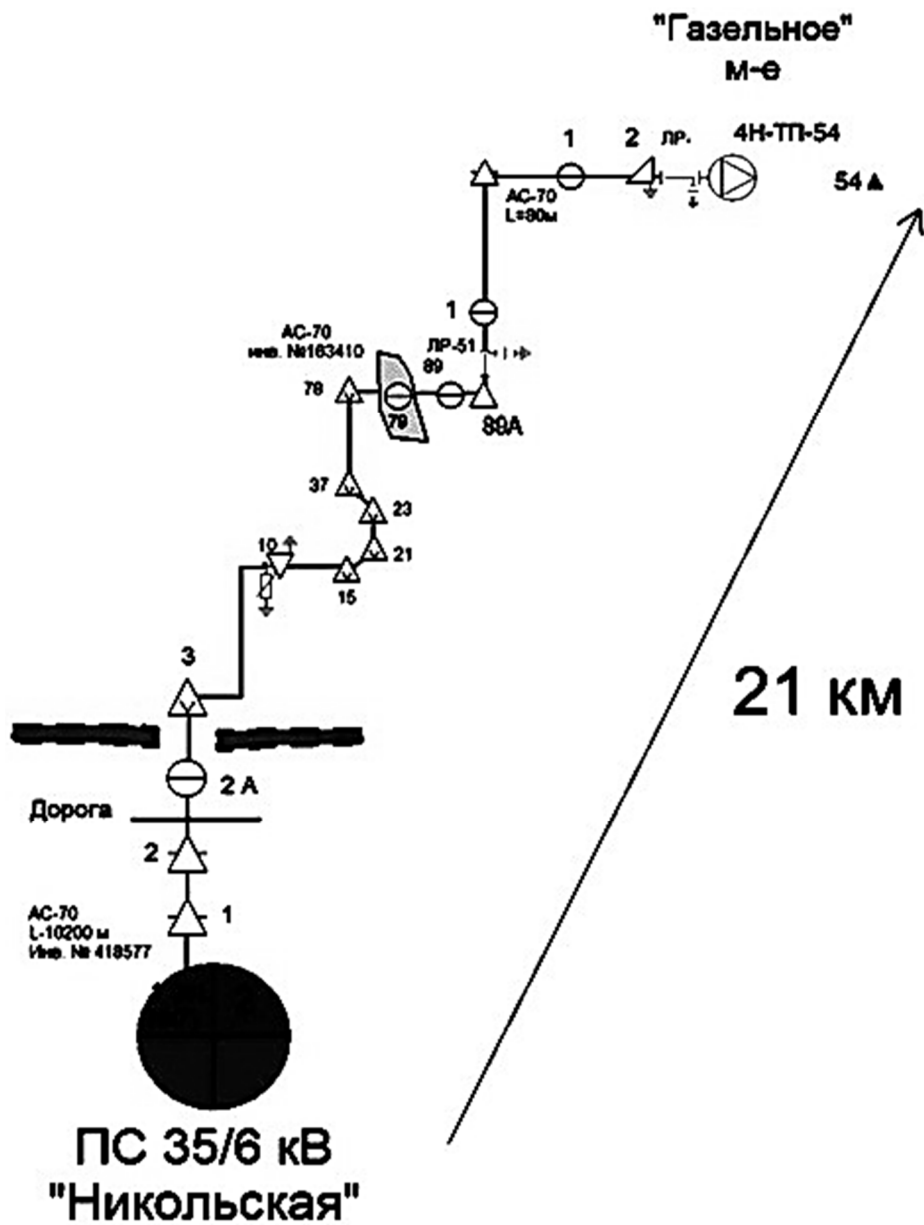


Рисунок 3 – Однолинейная схема ф. 4 ПС 35/6 кВ «Никольская»



Рисунок 4 – Размещение ФСА на площадке скважины 54 Газельное м.

Таблица 1

Наличие ФСА	Напряжение на входе, кВ	Напряжение на выходе, кВ	Ток нагрузки, А	Активная мощность, кВт	Реактивная мощность, квар
Без ФСА	6,62	0,378	254	136	139
С ФСА	5,89	0,402	238	116	0
Изменение	-11 %	6,4 %	-6,4 %	-14,7 %	-100 %

По расчетам экономической эффективности были сделаны следующие выводы (табл. 2):

- потери в сетях снизились с 7,59 кВт до 6,71 кВт;
- экономия электроэнергии составила 73,7 тыс. кВт·ч, а экономический эффект – 325,1 тысяч рублей в год.

Таблица 2

Наличие ФСА	tgφ, кВ	Потери в сетях 6 кВ, кВт	Экономия ЭЭ, тыс. кВт·ч в год	Тариф, руб. за кВт·ч (без учета НДС)	Экономия в год, тыс. руб.
Без ФСА	1,02	7,59	73,7	4,41	325,1
С ФСА	0,21	6,71			
Изменение	-79 %	-11,6 %			

Полученные во время проведения испытания результаты позволяют сделать выводы о целесообразности применения фильтров сетевых активных (ФСА) на удаленных скважинах, с целью сокращения потерь в сетях ВЛ 6 кВ.

Список литературы

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Политика компании в области повышения энергоэффективности и энергосбережения № П2-04.02 П-01 версия 1.00 № 568-П от 28.04.2014 г. Изменения № 788-П от 12.05.2017.

3. Положение Компании «Планирование и оценка фактического энергосберегающего эффекта от реализации программ энергосбережения нефтегазодобывающих Обществ Группы» № П2-04.05 Р-0333, версия 1.00.

List of references

1. Federal Law of November 23, 2009 № 261-FZ «On Energy Saving and Energy Efficiency Improvement and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation».

2. Company policy in the field of energy efficiency and energy saving № P2-04.02 P-01 version 1.00 № 568-P dated April 28, 2014 Amendments № 788-P dated May 12, 2017.

3. Regulation of the Company «Planning and evaluation of the actual energy-saving effect from the implementation of energy-saving programs for oil and gas producing Companies of the Group» № P2-04.05 R-0333, version 1.00.

**УМЕНЬШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОТХОДОВ
КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕСТОРАНЕ –
МИРОВОЙ ОПЫТ**

**WASTE REDUCTION AS ONE OF THE DIRECTIONS
OF OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES
IN A RESTAURANT – WORLD EXPERIENCE**

Нехай Бэла Аслановна

студентка,

Кубанский государственный технологический университет

bela.nekhay.98@mail.ru

Неретин Никита Юрьевич

студент,

Кубанский государственный технологический университет

nikitos_nev@mail.ru

Лаврентьева Марина Андреевна

кандидат исторических наук,

доцент кафедры истории, философии, психологии,

Кубанский государственный технологический университет

tabar1@rambler.ru

Костенко Рита Валерьевна

преподаватель кафедры

истории, философии, психологии,

Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Рассмотрен общий обзор истории и коммуникации стран мира по борьбе с пищевыми отходами в 21 веке. Особое внимание уделяется характеристике и истории бережливого производства и управления на предприятиях общественного питания.

Ключевые слова: пищевые отходы, предприятия общественного питания, бережливое производство, мировой опыт.

Nekhai Bela Aslanovna

Student,

Kuban State University of Technology

bela.nekhay.98@mail.ru

Neretin Nikita Yurievich

Student,
Kuban State University of Technology
nikitos_nev@mail.ru

Lavrentieva Marina Andreevna

Candidate of Historical Sciences,
Associate Professor of the Department
of History, Philosophy, Psychology,
Kuban State University of Technology
tabar1@rambler.ru

Kostenko Rita Valerievna

Department Teacher
History, Philosophy, Psychology,
Kuban State University of Technology

Annotation. A general overview of the history and communication of the countries of the world to combat food waste in the 21st century is considered. Particular attention is paid to the characteristics and history of lean production and management in public catering enterprises.

Keywords: food waste, public catering establishments, lean production, world experience.

Уменьшение пищевых отходов является одним из основных направлений во всем мире, которое требует немедленных действий. Проблема возникновения пищевого мусора обесценивает трудовые человеческие и природные ресурсы, направленные на ее производство, также оказывает огромное влияние на климат, экономику, возможность обеспечения продуктами питания нуждающегося населения [1].

Пищевые отходы – причина всех видов воздействия производства продуктов питания на окружающую среду (интенсивное использование и загрязнение земельных и водных ресурсов, резкое сокращение биоразнообразия, выбросы парниковых газов) без каких-либо преимуществ, связанных с питанием людей. Таким образом, пищевые отходы подрывают устойчивое развитие. Задача 12.3 целей в области устойчивого развития направлена на двойное сокращение пищевых отходов в мире на душу населения на уровне розничной торговли и потребителей и сокращение потерь продовольствия в цепочках производства и поставок, включая потери после уборки урожая, к 2030 году [1].

В настоящее время около трети продуктов питания подлежит выбросу. В мире каждую секунду выбрасывается около 51 тонн еды, из которых каждый год 1 млн тонн продовольствия выкидывает ресторанный сектор, где 75 % из этого числа могло быть съедено [1].

Исследования говорят о том, что снижение food waste уменьшает затраты на продовольственное сырье, площади складских помещений, плату трудовых ресурсов персонала, плату за коммунальные услуги (электричество, водоснабжение и вывоз мусора).

Однако мировой опыт показывает, что существуют программы, методы и разработки по сокращению пищевых отходов [2].

В Великобритании была создана программа, ориентированная на гостиничный и ресторанный бизнес. Она направлена на сокращение пищевых отходов «от фермы до вилки». «Стражи пищи» дают советы, основанные на передовом опыте, размещают всю полезную информацию по уменьшению каждого вида отходов, рассказывают о взаимоотношении с поставщиками и потребителями на сайте [3].

В Швеции компания ИКЕА давно задалась вопросом снижения пищевых отходов. Они используют специальный мусорный бак для подсчета выкинутого мусора. Умная корзина при помощи камеры, весов и заданной программы распознает стоимость количества выброшенного сырья. Благодаря этому устройству руководство наглядно видит куда уходят его деньги и сообщает о сокращении отходов на 50 % [4].

Следующим способом сокращения пищевых отходов является использование продуктов без остатка. Шеф-повар – Массимо Боттура – наиболее известный сторонник данной концепции. Блюда, которые создает Массимо Боттура, – больше похожи на художественные инсталляции в миниатюре. И затейливые имена, которые мастер дает своим произведениям, столь же непривычны и диковинны, например, «Угорь, плывущий по реке По». Боттура явно лукавит, говоря, что эстетика для него не главное. Его блюда совершенны в своем мнимом несовершенстве и абсолютно безупречны, притворяясь неидеальными. Визитная карточка великого шефа, и самое известное блюдо, выражающее всю суть его стиля, называется «Упс! Я уронил лимонный торт». На международной выставке ЕХРО-2015 в Милане он делился опытом приготовления блюд из пищевых остатков. Через год на Олимпийских играх в Рио была запущена международная кампания по

«восстановлению» еды, а позже многие мировые рестораны стали открываться с данной концепцией [3].

Такой подход к работе не обходит стороной и Российский рынок общепита. В Москве и Санкт Петербурге набирают популярность рестораны с концепцией Zero waste (Без отходов). Кроме того, в 2021 году гастрономический гид Мишлен помимо основных своих звезд присудил 3 зеленые звезды отечественным ресторанам за сокращение пищевых отходов [5]. Одним из этих ресторанов является Vjörn, во главе с шефом Никитой Подерягиным. Гастрономический почерк Никиты – это в первую очередь использование локальных продуктов, сохранение их чистого вкуса, поиск новых ингредиентов, научный подход, осознанность и экологичность. Это касается не только работы кухни, но и всего ресторана в целом. Максимальное использование исходного продукта, минимальное количество отходов и правильная их утилизация – основные принципы всей команды Vjörn. Его предприятие занимается сортировкой отходов, сбором вторичного сырья, они сократили цепочку поставок и на прямую работают с фермерами, активно занимаются сбережением воды, тепла и электричества. Также в штате насчитывается эко-консультант и проводятся ежемесячные лекции для сотрудников, ведь эко-кампания не имеет смысла, если персонал не осведомлен идеями руководства [4].

Идея снижения пищевых отходов должна волновать не только владельцев и работников предприятий, но и посетителей. Они не должны оставаться в стороне. Как минимум, не нужно делать сразу большой заказ в ресторане, а если осталась недоеденная пища, попросить официанта упаковать с собой. Также бывают часы скидок на продукцию, которую скоро спишут с реализации. Именно на это сделали упор предприниматели Северной Европы – в Швеции и Финляндии одновременно зародилась идея спасти «ненужную» еду. Они создали мобильное приложение, через которое потребитель может найти по близости уцененную еду [4].

Эко-волна дошла и до Петербурга, где появился первый в России проект, направленный на борьбу с food waste. Основателем является Рудольф Ан, живший за границей и вдохновившийся созданием данного приложения [3].

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что пищевые отходы вносят огромный вклад в выбросы углерода, а значит и в изменение климата. И мы все, независимо от нации и вероисповеда-

ния, можем сыграть существенную роль в уменьшении этого воздействия на нашу планету. Необходимо всего лишь немного поменять свое поведение, делиться и перенимать опыт первооткрывателей в этом вопросе. И тогда эти небольшие изменения могут сказаться не только на бюджете каждого предприятия, в частности ресторанов, но и на качестве жизни людей во всем мире [5].

Список литературы

1. Фрункина И.Б. Современные проблемы индустрии питания, туризма и сервиса, оптимизация затрат на заработную плату в ресторане // Аллея науки. – 2019. – № 2(29). – С. 459–465.
2. Пищевые добавки растительного и животного происхождения при разработке рецептур сладких блюд функциональной направленности / З.Т. Бухтоярова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2010. – № 1(313). – С. 57–58.
3. Батыров Т. Michlen впервые присудил звезды российским ресторанам / Т. Батыров, Е. Ганжур // Forbes: сетевой журнал. 14.10.2021. – URL : <https://www.forbes.ru> (дата обращения 7.03.2023).
4. Лаврентьева М.А. Корпоративная идентичность в компании: к вопросу о маркетинговых коммуникациях // Научные труды КубГТУ. – 2019. – № 2. – С 514–521.
5. Гаевская И.И. История : учеб. пособие / И.И. Гаевская, М.А. Лаврентьева. – Краснодар, 2018. – 104 с.

List of references

1. Frunkina I.B. Modern problems of the food industry, tourism and service, optimization of wage costs in a restaurant // Alley of Science. – 2019. – № 2(29). – P. 459–465.
2. Food additives of plant and animal origin in the development of recipes for functional sweet dishes / Z.T. Bukhtoyarova [et al.] // News of higher educational institutions. Food technology. – 2010. – № 1(313). – P. 57–58.
3. Batyrov T. Michlen awarded stars to Russian restaurants for the first time / T. Batyrov, E. Ganzhur // Forbes: online magazine. 10/14/2021. – URL : <https://www.forbes.ru> (date of the application 03/07/2023).
4. Lavrenteva M.A. Corporate identity in the company: on the issue of marketing communications // Scientific works of KubGTU. – 2019. – № 2. – P. 514–521.
5. Gaevskaya I.I. History : textbook / I.I. Gaevskaya, M.A. Lavrentiev. – Krasnodar, 2018. – 104 p.

**НИЗКОПРОНИЦАЕМЫЕ КОЛЛЕКТОРА
НА ТАРАСОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

**LOW-PERMEABILITY RESERVOIRS
AT THE TARASOVSKOYE FIELD**

Никонов Кирилл Романович

инженер 2 категории УЛИ ОКИК,
лаборатории литологии, минералогии
и систематизации исследований
ООО «НК «Роснефть» – НТЦ»,
студент 4 курса кафедры нефтяной геологии,
гидрогеологии и геотехники,
Кубанский государственный университет
neonikon04@gmail.com

Пинчук Татьяна Николаевна

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры нефтяной геологии,
гидрогеологии и геотехники,
Кубанский государственный университет
pinchukt@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования литолого-петрофизических свойств терригенных коллекторов ачимовской свиты Тарасовского месторождения, с низкими фильтрационно-емкостными свойствами. Коллекторы имеют сложение геологическое строение, которое выражено чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов в виде прослоев и линз, характеризуется невыдержанностью нефтенасыщенной толщины по разрезу, и низкой проницаемостью. При применении новым методов вполне могут быть введены в разработку при добыче нефти и газа.

Ключевые слова: низкопроницаемый коллектор, пористость, проницаемость, песчаники, алевролиты, аргиллиты, фильтрационно-емкостные свойства.

Nikonov Kirill Romanovich

Category 2 engineer ULI OKIK,
Laboratories of Lithology, Mineralogy
and Systematization of Research
by Rosneft Oil Company LLC – STC,
4th year Student of the Department of Petroleum Geology,
Hydrogeology and Geotechnics,
Kuban State University
neonikon04@gmail.com

Pinchuk Tatyana Nikolaevna

Candidate of Geological
and Mineralogical Sciences,
Associate Professor of Department of Petroleum Geology,
Hydrogeology and Geotechnics,
Kuban State University
pinchukt@mail.ru

Annotation. The results of the study of lithological and petrophysical properties of terrigenous reservoirs of the Achimov formation of the Tarasovsky deposit, with low filtration and capacitance properties, are presented. The reservoirs have a complex geological structure, which is expressed by the alternation of sandstones, siltstones and mudstones in the form of interlayers and lenses, characterized by the lack of oil-saturated thickness along the section, and low permeability. When using new methods, they may well be put into development during oil and gas production.

Keywords: low-permeability collector, porosity, permeability, sandstones, siltstones, mudstones, filtration and capacitance properties.

В связи с истощением запасов углеводородов (УВ) в традиционных коллекторах с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами, все большее внимание уделяется низкопроницаемым породам, которые ранее не учитывались как коллекторы.

Проведен анализ исследований ядра ачимовских отложений в пяти скважинах Тарасовского месторождения Западной Сибири. При изучении литолого-петрофизических свойств терригенных коллекторов с низкими фильтрационно-емкостными, рассмотрены различные литотипы, отличающиеся по генетическими, литологическими и петрофизическим признакам. Исследовано

более 570 образцов представительного керна, вынос которого в среднем составляет более 90 %. На формирование фильтрационно-емкостных свойств пород в первую очередь оказали влияние условия седиментации.

Невысокие гидродинамические условия осадконакопления привели к повышенному содержанию глинистого материала в породах, что значительно снизило их коллекторские свойства.

Песчаные тела, сформированные в более высоких гидродинамических обстановках седиментации (II-го и III-го палеогидродинамического уровня, отражающего динамическую активность среды), характеризуются также невысокими фильтрационно-емкостными свойствами. Это объясняется наложенными эпигенетическими процессами, которые выразились в уплотнении пород и вторичном минералообразовании.

При анализе литолого-петрографических исследований предполагается, что осадконакопление происходило в шельфовой зоне с выделением дельтового комплекса, а также отложений, характерных для подводных валов и баров.

В скважинах выделено несколько литотипов пород, сложенных прослоями песчаников, алевролитов, аргиллитов и переслаиванием их в разных пропорциях (рис. 1).

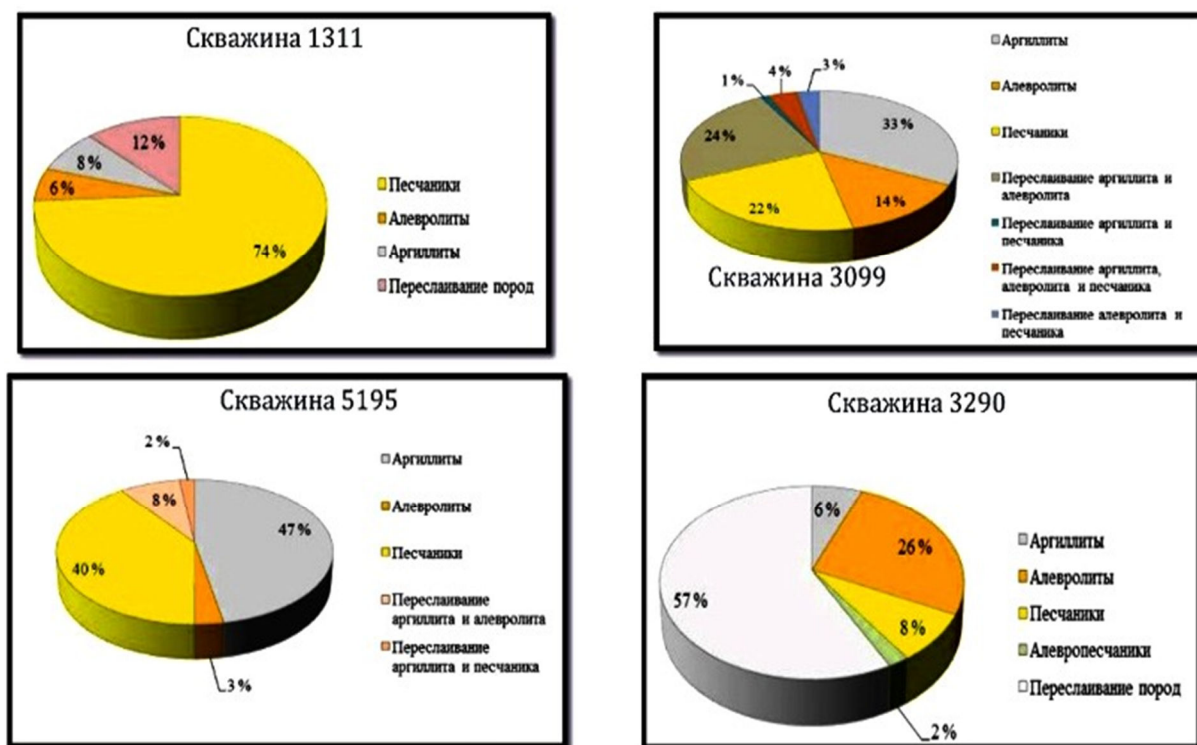


Рисунок 1 – Диаграммы литотипов ачимовской толщи Тарасовского месторождения

Литотип песчаника. Песчаники светло-серые, преимущественно мелкозернистые, редко с примесью зерен среднезернистой фракции, неравномерно алевроитовые, участками до алевропесчаников, глинистые, сцементированные и крепко сцементированные. Песчаники в основном неизвестковистые, но прослоями и линзами в разрезе скважины встречаются известковистые и известковые разности. Преобладают преимущественно неяснослоистые и массивные текстуры. Неяснослоистые текстуры обусловлены намывами глинистого и слюдистого материала. Иногда наблюдаются следы взмучивания и подводного оползания осадка. Редко присутствует косо-волнистослоистая текстура. Неравномерно в породе наблюдаются линзовидные включения глин, также следы размыва. Часто на плоскостях напластования отмечается рассеянный углистый растительный детрит, в том числе углефицированные обломки древесины. В породе присутствует неравномерная примесь аутигенных минералов (пирит и сидерит). В песчаниках ачимовской толщи присутствуют редкие иногда открытые микротрещины, которые частично залечены глинистым материалом или битуминозным материалом.

Литотипы аргиллита выделенные в ачимовских отложениях, обладающие низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЭС) выступают отличными покрышками для зон аккумуляции УВ в проницаемых пластах, которые являются перспективными для аккумуляции в них УВ.

Литотип алевролита. Алевролиты светло-серые, песчаные, глинистые, неравномерно (иногда послойно) известковистые, неравномерно слюдистые, участками сидеритизированные, крепко сцементированные. Алевролиты горизонтально-слоистые, за счет прослоек до 0,5 см, обогащённых глинистым, реже слюдисто-глинистым материалом, а также слоистые до массивных. В породе наблюдается неравномерная примесь углистого растительного детрита. Алевролит неравномерно глинистый и неизвестковитый, дает возможность предположить о перспективах аккумуляции УВ. В этом типе породы встречается с участки в виде ожелезнения. Мощности достигают от 0,5 м до 11,5 метров.

Литотип чередования алевролитов, аргиллитов, песчаников. Переслаивание алевролита светло-серого и аргиллита, а также песчаника мелкозернистого с примесью среднезернистой

фракции и аргиллита создают условия для формирования низкопроницаемых коллекторов с наличием УВ. При малых мощностях низкопроницаемые коллекторы могут вмещать и отдавать углеводородное сырье [1, 2]. Но при значениях проницаемости выше $6.38 \cdot 10^{-3}$ мкм², средняя открытая пористость имеет довольно малые значения 10,2 %. Что не дает аккумулироваться УВ и подталкивает их мигрировать, в более проницаемые породы.

На основании проведенных литолого-петрографических исследований можно предположить, что осадконакопление пород пласта ачимовской толщи происходило в условиях мелководного шельфа, где прослеживаются некоторые признаки дельтовых отложений, подводных валов и баров. В относительно невысоких гидродинамических обстановках в более глубоководной части шельфа накапливались алеврито-глинистые отложения. В повышенных гидродинамических обстановках происходило формирование баровых песчаных тел. На формирование фильтрационно-емкостных свойств пород, в первую очередь оказали влияние условия седиментации. Невысокие гидродинамические условия осадконакопления привели к повышенному содержанию глинистого материала в породах, что значительно снизило их коллекторские свойства.

Несмотря на высокую литологическую неоднородность образцов и сложную структуру пустотного пространства, удалось вывести уравнение зависимости проницаемости от пористости. При выведении уравнения зависимости не учитывались трещиноватые образцы с открытыми трещинами. Получена связь экспоненциального типа с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,70$ (рис. 2) [3, 4].

Песчано-алевритовые породы ачимовской толщи Тарасовского месторождения в целом характеризуются невысокими фильтрационно-емкостными свойствами, которые объясняются наложенными эпигенетическими процессами, сопровождающимися в уплотнении пород и вторичном минералообразовании. Породы по классификации терригенных коллекторов А.А. Ханина являются преимущественно коллекторами V и VI классов. При применении новым методов вполне могут быть введены в разработку при добыче нефти и газа.

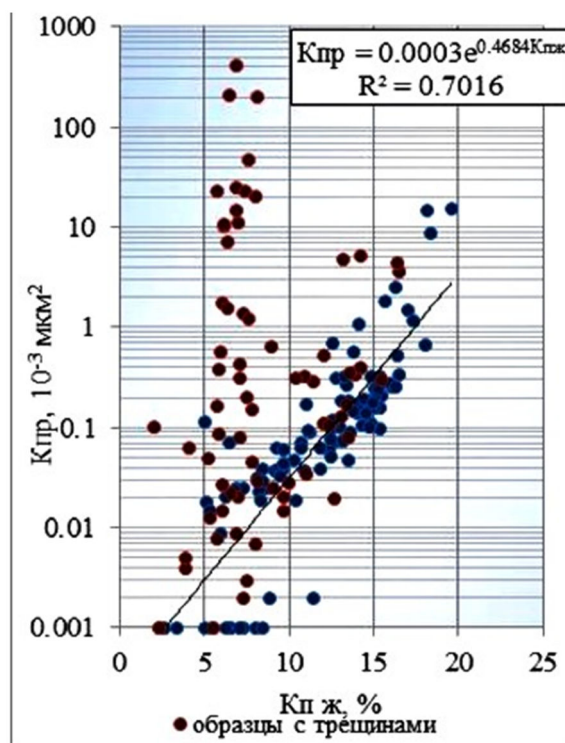


Рисунок 2 – Сопоставление проницаемости и пористости для пород из скважины № 3099 Тарасовского месторождения

Список литературы

1. Гудок Н.С. Определение физических свойств нефтесодержащих пород : учеб. пособие для вузов / Н.С. Гудок, Н.Н. Богданович, В.Г. Мартынов. – М. : Недра, 2007. – 592 с.
2. Добрынин В.М. Петрофизика (Физика горных пород) / В.М. Добрынин, Б.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. – М. : Нефть и газ, 2004. – 368 с.
3. Петрофизическая характеристика осадочного покрова нефтегазоносных провинций СССР: Справочник / Под ред. Г.М. Авчяна, М.Л. Озерской. – М. : Недра, 1985. – 192 с.
4. Методические рекомендации по исследованию пород-коллекторов нефти и газа физическими и петрографическими методами. – М. : ВНИГНИ, 1978. – 381 с.

List of references

1. Gudok N.S. Determination of physical properties of oil-bearing rocks / N.S. Gudok, N.N. Bogdanovich, V.G. Martynov: textbook. manual for universities. – М. : Nedra, 2007. – 592 p.
2. Dobrynin V.M. Petrophysics (Physics of rocks) / V.M. Dobrynin, B.Yu. Vendelstein, D.A. Kozhevnikov. – М. : Oil and Gas, 2004. – 368 p.
3. Petrophysical characteristics of the sedimentary cover of the oil and gas provinces of the USSR: Handbook / Ed. by G.M. Avchyan, M.L. Ozerskaya. – М. : Nedra, 1985. – 192 p.
4. Methodological recommendations for the study of oil and gas reservoir rocks by physical and petrographic methods. – М. : VNIGNI, 1978. – 381 p.

**МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ
НА ФИЛЬТРАЦИЮ ФЛЮИДОВ**

**MECHANISM OF ANALYSIS OF ELASTIC
VIBRATIONS FOR FLUID FILTRATION**

Орлова Инна Олеговна

доцент,

Кубанский государственный технологический университет

Даценко Елена Николаевна

доцент,

Кубанский государственный технологический университет

Авакимян Наталья Николаевна

доцент,

Кубанский государственный технологический университет

Чермит Тимур Адамович

студент,

Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Показано, что упругие колебания повышают продуктивность нефтяных скважин, эффективность воздействия зависит от многих факторов. Рассмотрено влияние нескольких из них.

Ключевые слова: волновые методы, фильтрация, флюид, пласт, давление, водоносность, нефтеотдача.

Orlova Inna Olegovna

Assistant Professor,

Kuban State Technological University

Datsenko Elena Nikolaevna

Assistant Professor,

Kuban State Technological University

Avakimyan Natalya Nikolaevna

Assistant Professor,

Kuban State Technological University

Chermit Timur Adamovich

Student,

Kuban State Technological University

Annotation. It is shown that elastic vibrations increase the productivity of oil wells, the effectiveness of the impact depends on many factors. The influence of several of them is considered.

Keywords: wave methods, filtration, fluid, reservoir, pressure, water saturation, oil recovery.

Для проектирования и правильной оценки эффективности применения волновых методов воздействия имеет принципиальное значение понимание механизма влияния упругих колебаний на фильтрацию нефтеводогазовых систем. Физические основы методов воздействия на нефтяные пласты с применением упругих колебаний были созданы ещё в начале 70-х годов в результате фундаментальных исследований, проведенных во ВНИИнефти и ВНИИгеосистем.

Установлено, что в условиях однофазной фильтрации под действием упругих колебаний происходят разупрочнение кольматирующего материала, глинистых включений и очистка поровых каналов коллектора, устраняется блокирующее влияние остаточных фаз газа, нефти и воды, инициируется фильтрация флюидов в низкопроницаемых прослоях и зонах. Этот механизм лежит в основе применения упругих колебаний для повышения продуктивности нефтяных скважин.

При двухфазной фильтрации (нефть-вода) упругие колебания изменяют смачиваемость на границах раздела фаз, возникают силы притяжения между каплями диспергированной фазы, которые в условиях обводненного пласта приводят либо к кластеризации, слиянию капель в «ручейки» разрозненной нефтяной фазы в водном потоке, либо к появлению капель нефти размерами, значительно меньшими радиусов поровых каналов, и увеличению их подвижности. Эти факторы повышают фазовую проницаемость для нефти и снижают ее для воды.

Водонасыщенность пласта не меняется, поскольку объемы каждой фазы в пределах единичного порового объема остаются постоянными. Для реальных промысловых условий даже на поздних стадиях заводнения двухфазная фильтрация, строго говоря, не характерна.

Для реальных промысловых условий наиболее характерной является трехфазная фильтрация (нефть-вода-газ), при которой

описанный выше механизм сочетается с влиянием колебаний на высвобождение газовой фазы

в виде мелких пузырьков. Последние в зависимости от их числа могут двигаться с водой с той же или большей скоростью. При этом пластовое давление может быть выше или ниже давления насыщения нефти газом.

Если фильтрация происходит при давлении ниже давления насыщения, то влияние упругих колебаний наиболее наглядно проявляется, когда, например, открываем бутылку с газированной водой. При этом в воде появляется множество больших и мелких пузырьков, которые активно устремляются вверх, к горлышку, где вода как бы пенится. В процессе выхода газа большую роль играет «пузырьковый» механизм, характеризующийся тем, что избыточные газовые молекулы, объединяясь, образуют пузырьки, всплывающие по известным законам и выносящие газ.

После всплытия некоторого количества газа вода успокаивается, и новые пузырьки не появляются или почти не появляются.

Вместе с тем в воде остается большая часть растворенного избыточного газа, который может выделяться только вследствие очень медленного «диффузионного» процесса. Причина того, что много избыточных молекул газа не удаляется из нее пузырьковым механизмом, заключается в том, что вода после первых порций всплывших в ней пузырей существенно дегазировалась, из нее удалились микроскопические пузырьки-зародыши, которые, поглощая избыточные молекулы, могут превращаться в более крупные и всплывать.

Оставшемуся в воде газу некуда стекать, поэтому пузырьки не возникают, и газ может выделиться из воды лишь с помощью диффузионного механизма. В соответствии с этим, если наша логика непротиворечива, то достаточно встряхнуть бутылку с «успокоившейся» газированной водой, создать в ней разрывы и трещины, которые могут стать зародышами пузырьков, и пузырьковый механизм должен опять заработать.

Менее очевиден результат влияния упругих колебаний на фильтрацию при давлении выше давления насыщения. Совместно с О.Л. Кузнецовым, А.Х. Мирзаджанзаде и С.А. Ефимовой, было впервые экспериментально показано, что при таких условиях под действием упругих колебаний пузырьки газа появляются при дав-

лениях, более высоких, чем давление насыщения, существовавшее до воздействия. Происходит высвобождение газа в виде мелких пузырьков, размеры которых меньше размеров пор. Это явление было названо нами эффектом увеличения давления насыщения в поле упругих колебаний. Экспериментально показано, что существуют некоторые оптимальные мощности виброисточника, характерные для данного пласта и насыщающей среды, при которых относительное давление появления пузырьков газа максимально.

Однако приведенный в последующем более детальный анализ этих результатов свидетельствует о том, что давление насыщения в поле упругих колебаний остается тем же самым, что и до воздействия, и эффект увеличения давления насыщения в поле упругих колебаний в действительности является кажущимся. Он обусловлен особенностями проведения эксперимента, в соответствии с которым давление насыщения определяется путем снижения пластового давления с одновременным воздействием на модели пласта упругими колебаниями. В этих условиях наравне с пластовым давлением необходимо учитывать степень снижения переменного акустического давления относительно давления насыщения (рис. 1).

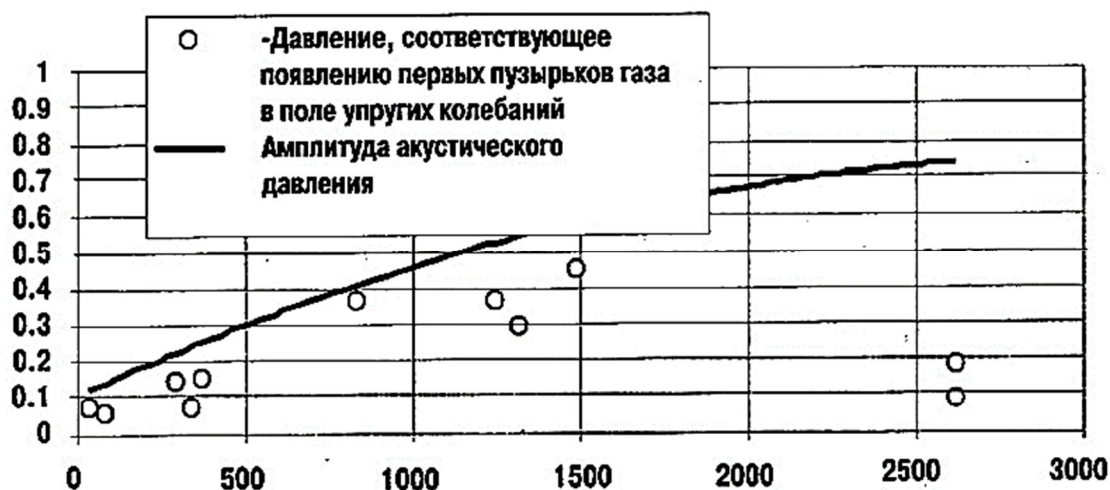


Рисунок 1– Кажущееся увеличение давления насыщения пропан-н гептановой смеси в поле упругих колебаний

Когда переменное акустическое давление становится ниже давления насыщения, происходит разгазирование нефтяной фазы. При последующем увеличении акустического давления выше насыщения полного обратного растворения газовой фазы в жидкости не происходит из-за гистерезиса растворимости.

Изменения амплитуды акустического давления относительно давления насыщения в процессе выполнения указанных выше экспериментов подтверждают это явление (рис. 2).



Рисунок 2 – Зависимость относительного объема нефтегазовой смеси $V_{нг}/V_{г}$ от относительной амплитуды акустического давления $dP_{ак}/P_0$ при различных соотношениях $P_{пл}/P_0$

В то же время для экспериментатора формально это выглядит как эффект повышения давления насыщения в поле упругих колебаний. Вопрос о размерах и стабильности газовых пузырьков, возникающих в результате разгазирования жидкости при воздействии упругими колебаниями, представляет особый интерес. Результаты исследований размеров стабильных газовых пузырьков, образующихся в необработанной воде при частоте до 10 кГц, свидетельствуют о том, что их радиусы составляют 0,1–1 мкм. В реальных жидкостях под действием упругих колебаний происходит адсорбция органических (поверхностно-активных) веществ на поверхности газовых пузырьков, что снижает межфазные натяжения на границе с жидкостью и препятствует диффузии газа. По этим причинам пузырьки газа, появляющиеся в поле упругих колебаний в реальных жидкостях, остаются стабильными даже при очень маленьких размерах, близких к зародышевым.

Например, под действием упругих колебаний выделившийся из нефти газ образует газовые пузырьки, рассеянные по всему объему нефти. При этом, если доля объема, занимаемая газовой фазой в пласте в поле упругих колебаний, не превышает определенной доли порового объема, то нефтяная фаза не дегазируется, и газ остается неподвижным относительно нее. Такое состояние нефтегазовой смеси было названо В.Д. Лысенко как разгазирование нефти без ее дегазации.

Исходя из анализа трехфазной диаграммы фазовых проницаемостей М.Л. Сургучев определил, что доля объема пласта, занимаемая при этом газовой фазой, не должна превышать 15–20 %. В.Д. Лысенко, исходя из предположения, что рассеяние (распределение) газовых пузырьков по массиву нефти носит равномерный случайный характер, показал, что эта доля близка к 33 %. Данная величина была принята им за критерий разгазирования нефти без дегазации.

Иначе говоря, возникающая в результате воздействия упругими колебаниями газированная нефтяная фаза в пласте теоретически может годами оставаться стабильной, если доля объема, занимаемая газовой фазой в пласте, не превышает 15–33 % порового объема. Объем газированной нефтяной фазы будет зависеть от амплитуды падения акустического давления относительно давления насыщения.

Кроме того, в пределах фиксированного размера порового пласта увеличение объема газированной нефтяной фазы в поле упругих колебаний должно приводить к вытеснению из пласта водяной фазы, и следовательно, к снижению средней водонасыщенности пласта, что подтверждается результатами вибросейсмического воздействия (рис. 3).

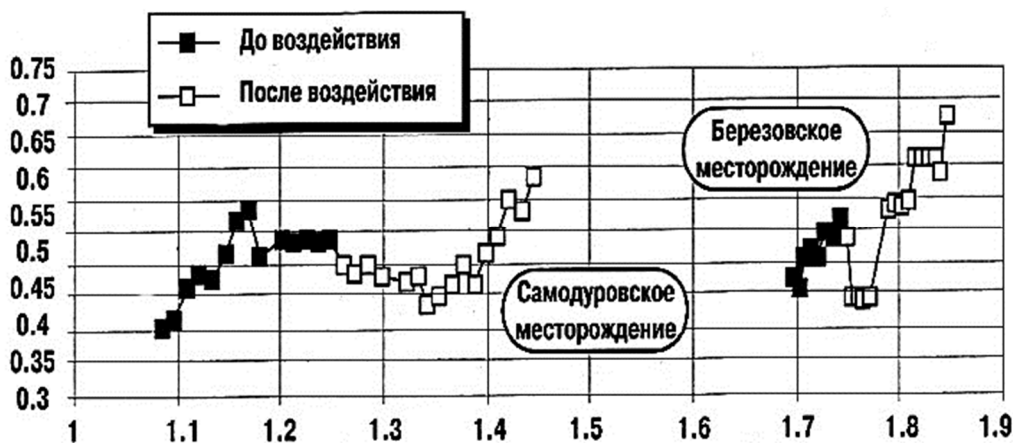


Рисунок 3 – Изменение водонасыщенности пласта до вибросейсмического воздействия и после него

Как видно, сразу после начала воздействия средняя водонасыщенность быстро снижалась. В целом максимальное ее уменьшение превышало 20 %. Среднее (за период действия эффекта) снижение водонасыщенности составило 40 % относительно водонасыщенности, которая соответствовала бы компьютерному прогнозу ее изменения без воздействия. Темпы уменьшения

водонасыщенности после вибросейсмического воздействия свидетельствовали также о вовлечении в процесс разработки новых, невыработанных ранее запасов нефти в прослоях, в которые не попала закачиваемая вода.

В дальнейшем, по мере отбора из пласта этих запасов, вытесненный объем замещается водой, и водонасыщенность пласта снова возрастает, постепенно приближаясь к значению, которое соответствовало компьютерному прогнозу изменения водонасыщенности без воздействия.

Список литературы

1. Управляемое вибросейсмическое воздействие на нефтяные залежи на поздней стадии разработки на примере Туимазинского нефтяного месторождения / Н.Х. Габдрахманов [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2002. – № 10. – С. 21–22.

2. Применение волновых технологий в добыче нефти / Л.С. Бриллиант [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 9. – С. 80–81.

3. Способ интенсификации добычи нефти / Д.Г. Антониади, Н.И. Васильев, И.О. Орлова, Н.Н. Авакимян // Патент на изобретение № 2553122 РФ, от 15.05.2015 г.

4. Повышение эффективности разделения водонефтяной эмульсии акустическим воздействием / Н.И. Васильев [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 2. – С. 47–49.

List of references

1. Controlled vibroseismic impact on oil deposits at a late stage of development on the example of the Tuimazinskoye oil field / N.Kh. Gabdrakhmanov [et al.] // Oilfield business. – 2002. – № 10. – P. 21–22.

2. Application of wave technologies in oil production / L.S. Brilliant [et al.] // Oil industry. – 2000. – № 9. – P. 80–81.

3. The method of intensification of oil production / D.G. Antoniadi, N.I. Vasiliev, I.O. Orlova, N.N. Avakimyan // Patent for invention No. 2553122 of the Russian Federation, dated May 15, 2015.

4. Improving the efficiency of oil-water emulsion separation by acoustic influence / N.I. Vasiliev [et al.] // Equipment and technologies for the oil and gas complex. – 2016. – № 2. – P. 47–49.

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ
УПЛОТНЕНИЙ ПОРШНЕЙ ТРИГГЕРА ДКД**

**INCREASED RELIABILITY
TRIGGER PISTON SEALS DKD**

Поздняк С.М.

инженер по эксплуатации нефтегазопроводов 1 категории участка по эксплуатации и ремонтно-восстановительным работам на линейной части магистральных газопроводов линейно-эксплуатационной службы, Ростовское линейное производственное управление магистральных газопроводов
sergey_pozdnyak@mail.ru

Сыроватка В.А.

кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего базовой кафедры эксплуатации компрессорных станций и проектирования оборудования магистрального транспорта, Кубанский государственный технологический университет
Sva2020gazprom@mail.ru

Антоненко А.М.

начальник линейно-эксплуатационной службы, Ростовское линейное производственное управление магистральных газопроводов
aa95882@ya.ru

Рядченко В.Н.

ведущий инженер по эксплуатации и обслуживанию газовых объектов участка по эксплуатации и ремонтно-восстановительным работам на линейной части магистральных линейно-эксплуатационной службы, Ростовское линейное производственное управление магистральных газопроводов
vladimir-ryadchenko@ya.ru

Ткачев А.Н.

инженер по эксплуатации нефтегазопроводов 1 категории
линейно-эксплуатационной службы,
Ростовское линейное производственное управление
магистральных газопроводов
tkachev_artem@mail.ru

Аннотация. В настоящее время для непрерывного снижения и автоматического поддержания заданного давления транспортируемого газа с целью перепуска его из магистральных газопроводов с более высоким давлением в газопроводы с более низким давлением в газовой и нефтяной промышленности применяются узлы редуцирования газа (УРГ). Основным узлом такого объекта является блок редуцирования, в котором применяется оборудование как иностранного, так и в нашем случае – отечественного производства. В статье предложен метод повышения надежности уплотнений золотников поршней триггера ДКД за счет изменения компонентного состава резиновой смеси путем добавления элементов, повышающих показатели твердости и условной прочности при растяжении.

Ключевые слова: узел редуцирования газа (УРГ), дискретный клапан-дроссель (ДКД), электропневмотриггер (ЭПТ), золотник поршня триггера.

Pozdnyak S.M.

Oil and Gas Pipeline Engineer of the 1st Category
Site for Operation and Repair and Restoration Work
on the Linear part of the Main Gas Pipelines
of the Linear Maintenance Service,
Rostov Linear Production
Management of Main gas Pipelines
sergey_pozdnyak@mail.ru

Syrovatka V.A.

Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor,
Acting Head of the Basic Department
Operation of Compressor Stations and Design
Main Transport Equipment,
Kuban State Technological University
Sva2020gazprom@mail.ru

Antonenko A.M.

Head of Line Maintenance Service,
Rostov Linear Production Administration
Main Gas Pipelines
aa95882@ya.ru

Ryadchenko V.N.

Lead Engineer for Operation and Maintenance
Gas Facilities of the Site for Operation
and Repair and Restoration Work on the Linear Part
Main Line Maintenance Service,
Rostov Linear Production
Management of Main Gas Pipelines
vladimir-ryadchenko@ya.ru

Tkachev A.N.

Oil and Gas Pipeline Engineer of the 1st Category
Line Maintenance service,
Rostov Linear Production Administration
Main Gas Pipelines
tkachev_artem@mail.ru

Annotation. Currently, in order to continuously reduce and automatically maintain a given pressure of the transported gas in order to bypass it from main gas pipelines with a higher pressure to gas pipelines with a lower pressure, gas reduction units (GR) are used in the gas and oil industry. The main unit of such an object is the reduction unit, which uses equipment both foreign and, in our case, domestic production. The article proposes a method for increasing the reliability of the seals of the valve pistons of the DKD trigger by changing the component composition of the rubber mixture by adding elements that increase the hardness and conditional tensile strength.

Keywords: gas reduction unit (GRG), discrete throttle valve (DKD), electro-pneumatic trigger (EPT), trigger piston spool.

Основным органом узла редуцирования является дискретный клапан-дрессель ДКД, который влияет на обеспечение технологической надежности и безопасности работы газотранспортной системы. Применение уплотнительного материала с повышенными показателями твердости и условной прочности при растяжении обеспечит максимальную надежность и бесперебойную работу объектов магистрального транспорта газа.

Применение вышеуказанных материалов позволяет предположить о сохранении работоспособности уплотнений в течение более длительного срока по сравнению с заводскими изделиями.

Достоинствами предлагаемого решения являются:

- повышение надежности эксплуатации ДКД;
- увеличение межремонтного интервала;
- сокращение затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт;
- оперативность изготовления

Многофункциональная система управления потоком газа ДКД предназначена для управления в автоматическом и ручном режимах потоком газообразных и жидких продуктов. Она разработана на базе многоступенчатого дискретного клапана-дресселя (ДКД) и микроконтроллера, реализующего импульсное электропневмоуправление.

Тип клапана-дресселя – многопоточный с дискретным (ступенчатым) изменением площади проходного сечения, нормально закрытый при транспортировке и монтаже с импульсным электропневмоуправлением каждым запорным клапаном. Привод совмещен с запорным поршнем.

Недостатком типового устройства ДКД является управление запорных клапанов с помощью электропневмотриггеров (ЭПТ). ЭПТ содержит исполнительный орган (золотник 25, рис. 1), электромагнитные клапаны управления (ЭМо – для открытия сечения, ЭМз – для его закрытия) и соответствующие ручки ручного управления 21, а также концевые сигнализаторы (КСо и КСз) положения золотника 25.

Опыт эксплуатации показывает, что при использовании золотников с торцевым уплотнением заводского изготовления потенциал работы оборудования снижается из-за воздействия агрессивной среды, приводящей к износу поверхности торцевого уплотнения золотника поршня триггера и дальнейшему перепуску газа, влияющему на точность заданных уставок параметров выходного давления ДКД-47-400.

В связи с необходимостью обеспечения и повышения надежности ЭПТ предлагается усовершенствовать конструкцию ДКД способом изменения состава уплотнительного соединения золотника поршня триггера на резиновую смесь марки 7В-14 группы Ш-1в-20 с добавлением наполнителя, в соответствии с ТУ 22.19.20-111-75233153-2018 с изм. № 1.

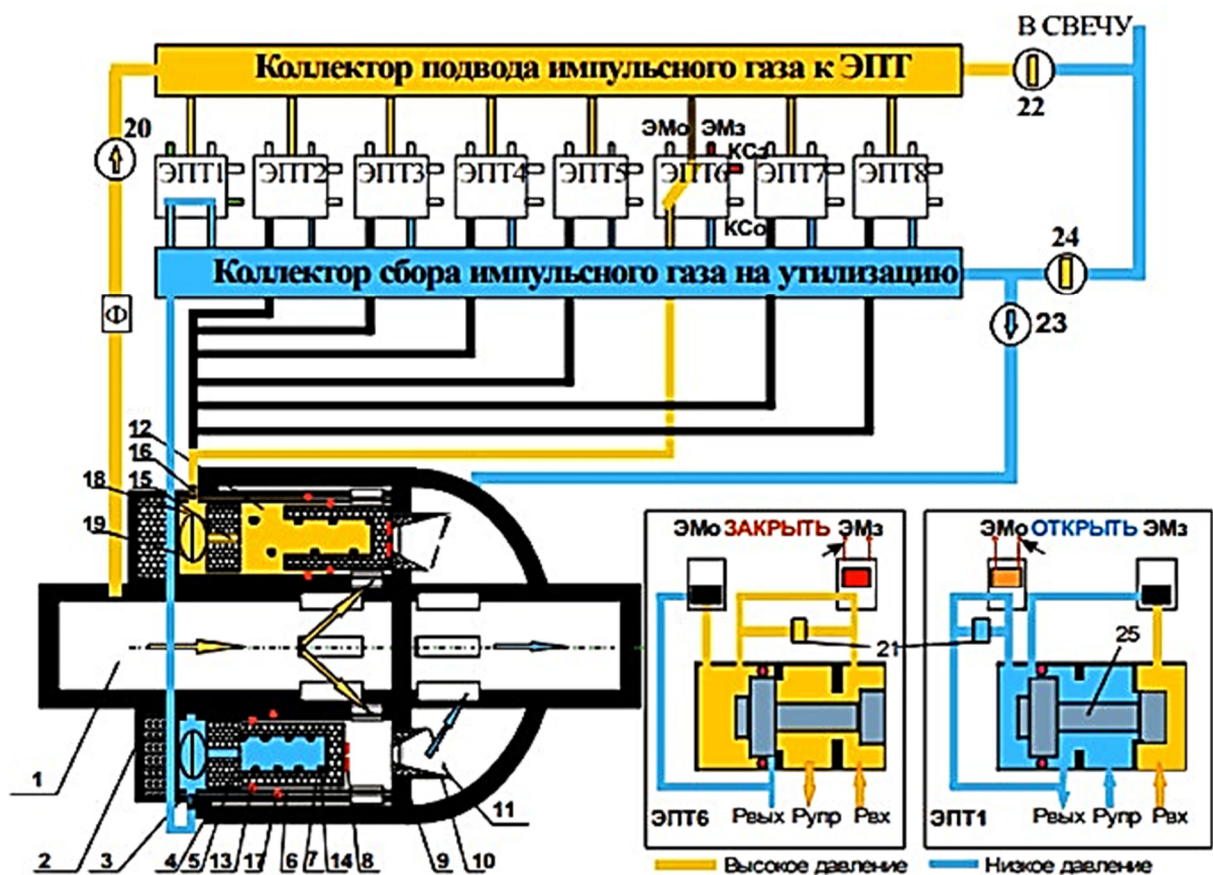


Рисунок 1 – Схема коммуникаций ДКД с блоком пневмоуправления:
 1 – трубопровод; 2 – упор (заглушка); 3 – стяжка; 4 – корпус;
 5 – противоударная масса; 6 – гильза; 7 – поршень;
 8 – торцевое уплотнение; 9 – перегородка; 10 – расходная шайба;
 11 – шумогаситель; 12 – демфирующая полость; 19 – пружины Бельвиля;
 20 – кран подвода импульсного газа КИГ; 21 – рукоятки ручного управления;
 22, 23 – кран утилизации газа КУГ; 24 – кран связи со свечой;
 25 – золотник; Φ – фильтр; ЭПТ – электропневмотриггер,
 ЭМ – электромагнит, КС – концевые сигнализаторы

Необходимым условием надежной работы ДКД является герметичность поршня триггера в устойчивых крайних положениях «открыто/закрыто». Под воздействием нагрузок и агрессивной среды на торцевые уплотнения золотника поршня триггера происходит деформация, потеря эластичности и износ уплотнительного материала, что влечет за собой снижение герметичности поршня триггера в устойчивых крайних положениях «открыто/закрыто». В результате износа поверхности торцевого уплотнения поршня триггера начинается процесс перепуска рабочей среды, оказывающий влияние на точность заданных уставок параметров выходного давления ДКД и корректный режим работы УРГ.

В настоящий момент времени отсутствует ГОСТ на торцевые уплотнения. Общие требования безопасности определяют критерии выбора типа торцевого уплотнения в зависимости от перекачиваемой среды и места установки изделия. Накопленный опыт работы с данной продукцией выявил невозможность прогнозирования показателей надежности и конкретного срока службы торцевых уплотнений золотника поршня триггера, так как все показатели являются статическими параметрами. Поэтому надежность торцевых уплотнений является функцией многих переменных: конструктивные особенности, применяемые материалы, правильность монтажа и в значительной степени – условия эксплуатации (режим работы уплотнительного органа), техническое состояние оборудования, а также другие многочисленные факторы, учесть которые на практике не всегда представляется возможным. В связи с этим для каждого конкретного случая надежность уплотнительного узла будет всегда разной.

В нашей работе мы встречаемся с тем, что одни и те же торцевые уплотнения золотника поршня триггера из одной партии с одинаковыми материалами и качеством изготовления работают в одном и том же оборудовании до выхода из строя разное время, что полностью подтверждается накопленным опытом работы. Необходимо особо отметить, что при постоянной нагрузке срок службы торцевых уплотнений будет существенно снижаться, что приведет к ускоренному износу или повреждению. В таких условиях эксплуатация золотника является недопустимой.

Одним из необходимых факторов для обеспечения надежности и продолжительного срока службы уплотнения является рациональный выбор его конструктивного решения, который тесно связан с эксплуатационными испытаниями опытных образцов.

Руководствуясь вышеизложенным, принято решение об изготовлении 12 экспериментальных образцов торцевых уплотнений из маслостойкой резины марки 7В-14 группы Ш-1в-20 с добавлением наполнителя, в соответствии с ТУ 22.19.20-111-75233153-2018 с изм. № 1, как наиболее устойчивой к вредным и агрессивным средам (в таблице 1 приведены сравнительные характеристики материалов).

После выполнения работ и изготовления пробного комплекта торцевых уплотнений опытные образцы прошли успешные испытания в рамках НИОКР в лабораторных условиях.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика резиновой смеси

№	Физико-механические показатели	Заводская продукция (7-3826)	Предлагаемое решение (7В-14)
1	Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	7,7	8,9
2	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	480	210
3	Твердость, ед. Шора А, в пределах	59	69
4	Температурный предел хрупкости, °С, не выше	-20	-45
5	Изменение объёма после воздействия стандартной жидкости: СЖР (100 °С × 72 ч), % в пределах	-7,2	-6,8

Согласно ценовой политики была рассчитана экономическая составляющая использования предложения: 812,15 руб. – эксплуатационные затраты, 6820 руб. – стоимость нового поршня.

Таким образом, использование золотников поршня триггера с предлагаемыми торцевыми уплотнениями 25 (рис. 1), в соответствии с ТУ 22.19.20-111-75233153-2018 с изм. № 1, позволит сохранить работоспособность, повысить энергоэффективность и надежность эксплуатации.

Список литературы

1. Техническое описание ДКД 10,00,03 ТО и РЭ. – С. 12.
2. ТУ 22.19.20-111-75233153-2018 с изм. – № 1.
3. Наземцев А.С. Гидравлические и пневматические системы. – 2004. – Ч. 1. – С. 35.

List of references:

1. Technical description DKD 10,00,03 TO and RE. – P. 12.
2. TU 22.19.20-111-75233153-2018 as amended. – № 1.
3. Nazemtsev A.S. Hydraulic and pneumatic systems. – 2004. – Part 1. – P. 35.

**ВНЕДРЕНИЕ В АО «САМАРАНЕФТЕГАЗ»
МЕТОДА, НАПРАВЛЕННОГО НА ПОИСК
И ОПЕРАТИВНОЕ УСТРАНЕНИЕ УТЕЧЕК МЕТАНА
СИЛАМИ ОБУЧЕННОГО ПЕРСОНАЛА ОБЩЕСТВА**

**INTRODUCTION IN SAMARANEFTEGAZ JSC
A METHOD DIRECTED TO SEARCH AND FAST LEAKAGE
METHANE BY THE COMPANY'S TRAINED STAFF**

Саввон Я.В.

доктор технических наук,
Кубанский государственный технологический университет

Гиляев Г.Г.

профессор,
кафедра нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный технологический университет

Ульянов С.С., Орлов М.И., Чернов А.Е., Гомонов Д.В.

Управление подготовки и перекачки нефти,
АО «Самаранефтегаз»,

Аннотация. Внедрение в АО «САМАРАНЕФТЕГАЗ» метода, направленного на поиск и оперативное устранение утечек метана силами обученного персонала общества.

Ключевые слова: Метан, «Роснефть-2030», «Самаранефтегаз» беспилотный летательный аппарат (БПЛА), лазерные и ультразвуковые детекторы, парниковые газы.

Savvon Ya.V.

Doctor of Technical Sciences,
Kuban State Technological University

Gilaev G.G.

Professor,
Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Kuban State Technological University

Ulyanov S.S., Orlov M.I., Chernov A.E., Gomonov D.V.

Department of Oil Treatment and Pumping
JSC Samaraneftegaz

Annotation. Implementation in JSC «SAMARANEFTEGAZ» of a method aimed at finding and promptly eliminating methane leaks by trained personnel of the company.

Keywords: Methane, Rosneft-2030, Samaraneftegaz unmanned aerial vehicle (UAV), laser and ultrasonic detectors, greenhouse gases.

Изменение климата и глобальное потепление напрямую связано с выбросом в атмосферу избыточного количества парниковых газов. При выделении парниковые газы остаются в атмосфере Земли. При этом они позволяют проходить через атмосферу солнечному свету, но, одновременно с этим, способствуют удержанию тепла.

Метан является мощным парниковым газом, вторым по значимости после углекислого газа. Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), он ответственен более чем за 25 % потепления, с которым человечество сегодня сталкивается. По оценке НИИ проблем экологии, около 60 % выбросов метана носят антропогенный характер, а следовательно, управляемы [1].

В нефтегазодобывающей отрасли утечки метана возникают по всей цепочке производственного цикла (от скважины до конечного пункта сдачи товарного продукта). С точки зрения количественной оценки выбросов метана нефтегазовая отрасль вносит существенный вклад по негативному воздействию (на ее долю приходится более 30 % от всех выбросов метана).

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду в 2019 году ПАО «НК «Роснефть» присоединилась к инициативе ведущих международных нефтегазовых компаний и подписала «Руководящие принципы по снижению выбросов метана в производственно-сбытовой цепочке природного газа». В рамках этого в Компании была разработана и принята к реализации стратегия «Роснефть-2030», согласно которой установлены целевые показатели по сокращению выбросов парниковых газов на 5 % к 2025 году, а к 2035 году – на 25 %. Достижение стратегических целей планируется за счет реализации на добывающих предприя-

тиях «Роснефти» комплексной программы по обнаружению и устранению неорганизованных источников эмиссии парниковых газов, в том числе метана [2].

В целях исполнения комплексной программы профильными службами центрального аппарата управления Компании «Роснефть» составлен и утвержден план работ по выявлению и устранению утечек метана, которым предусмотрено выполнение работ по мониторингу площадных объектов Дочерних Обществ силами специализированной подрядной организации с применением переносного оборудования (лазерные и ультразвуковые детекторы), а также обследование объектов на предмет обнаружения утечек метана с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Для выполнения данных работ в АО «Самаранефтегаз», согласно утвержденному в Компании плану, уже в 2021 году закуплено переносное оборудование для поиска утечек метана, а также заключены договора с подрядными организациями на выполнение работ по мониторингу выбросов метана на производственных объектах с применением наземных приборов и по поиску утечек метана с применением БПЛА.

Обследованием подвергалось следующее оборудование объектов: фланцевые соединения трубопроводов, уплотнения насосов (и компрессоров), запорно-регулирующая арматура, предохранительные клапаны, узлы учета перекачиваемой продукции (нефть, газ) и т.д. Результат проведенных обследований в АО «Самаранефтегаз» показал эффективность выполняемой работы. Были обнаружены и оперативно устранены утечки метана, образовавшиеся на некоторых фланцевых соединениях трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.

Оценив результат и объем проведенных обследований нефтепромысловых объектов на предмет поиска утечек метана за 2021–2022 года, в АО «Самаранефтегаз» было предложено с 2023 года проводить работы силами обученного персонала Общества и тем самым отказаться от привлечения подрядной организации на договорной основе.

После одобрения Компании предложения АО «Самаранефтегаз» (в части обследования объектов Общества на предмет утечек метана) было организовано и проведено обучение специалистов АО «Самаранефтегаз» по работе со стационарными приборами по поиску утечек метана, проведению анализа полученных результатов и выдачи соответствующих рекомендаций.

С января 2023 года по настоящее время работы успешно проводятся на производственных объектах АО «Самаранефтегаз» силами обученных сотрудников Общества.

В результате реализации мероприятий в АО «Самаранефтегаз» достигнуты ключевые показатели эффективности, которые позволили своевременно выявлять и устранять утечки метана, проверять герметичность соединительных узлов оборудования (после ввода в эксплуатацию после ремонта, строительства, технического обслуживания), а также сократить операционные затраты на проведение работ по обследованию нефтепромысловых объектов АО «Самаранефтегаз» на предмет поиска утечек метана.

Список литературы

1. Кочетова М. Метан – недолговечный, но коварный // Ведомости. – 2022. – № 5.
2. Алифирова Е. Надежная энергия и глобальный энергопереход. Роснефть приняла стратегию развития до 2030 г. // Деловой журнал «Neftegaz.ru». – 2021.

List of references

1. Kochetova M. Methane – short-lived but insidious // Vedomosti. – 2022. – № 5.
2. Alifirova E. Reliable energy and global energy transition. Rosneft adopted a development strategy until 2030 // Business journal «Neftegaz.ru». – 2021.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТОВ**

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY
OF THE ELECTRIC DRIVE OF ELEVATORS**

Самородов Александр Валерьевич

кандидат технических наук,
доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
alex.samorodoff@gmail.com

Мараховский Евгений Александрович

магистрант,
Кубанский государственный технологический университет
zheka3334@mail.ru

Колбасин Сергей Игоревич

магистрант,
Кубанский государственный технологический университет
kolbasinserega@yandex.ru

Малеева Алсу Вячеславовна

студентка
Кубанский государственный технологический университет
maleeva_alsu@mail.ru

Трескинская Анастасия Александровна

студентка,
Кубанский государственный технологический университет
tress2001@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения в электроприводе лифтов вентильных электродвигателей вместо асинхронных. Описаны конструкция и принцип работы вентильных электродвигателей. Представлены сравнительные графики рабочих характеристик электродвигателей и графики КПД при различных номинальных мощностях.

Ключевые слова: вентильный двигатель, асинхронный двигатель, КПД, статор, ротор, постоянные магниты.

Samorodov Alexander Valerievich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Machines,
Kuban State Technological University
alex.samorodoff@gmail.com

Marakhovsky Evgeny Alexandrovich

Undergraduate,
Kuban State Technological University
zheka3334@mail.ru

Kolbasin Sergey Igorevich

Undergraduate,
Kuban State Technological University
kolbasinserega@yandex.ru

Maleeva Alsu Vyacheslavovna

Student,
Kuban State Technological University
maleeva_alsu@mail.ru

Treskinskaya Anastasia Alexandrovna

Student,
Kuban State Technological University
tress2001@mail.ru

В современных условиях энергоэффективность электрооборудования имеет значительное преимущество при выборе того или иного оборудования.

Одним из способов повышения энергоэффективности электроприводов является использование в них современных вентильных электродвигателей взамен традиционным асинхронным [1].

Вентильный двигатель состоит из двух основных частей статора и ротора. Статор конструктивно аналогичен асинхронному двигателю и состоит из магнитопровода, в пазах которого уложена трехфазная обмотка. Главное назначение статора – создание вращающегося магнитного поля. Ротор представляет из себя постоянный магнит, создающий магнитное поле, которое взаимодействует с вращающимся магнитным полем статора [2, 3]. Наглядное устройство статора и ротора вентильного двигателя представлено на рисунке 1.

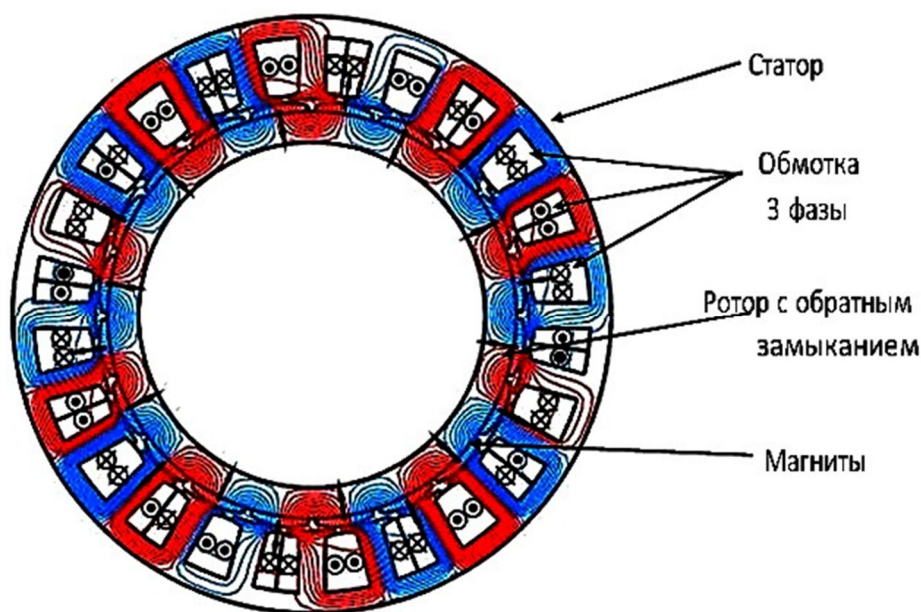


Рисунок 1 – Устройство статора и ротора вентильного электродвигателя лифта

При соединении обмоток по схеме «звезда» ВД имеет больше постоянной момента и меньше постоянной противо-ЭДС по сравнению с соединением по схеме «треугольник». Поэтому соединение по схеме «звезда» используется для управления технологическими установками, требующими больших моментов, а соединение по схеме «треугольник» – для управления технологическими установками, требующими больших скоростей.

В большинстве случаев обмотка статора выполняется без насыщения, при этом противо-ЭДС обмоток будет синусоидальной. Такие электродвигатели называют AC brushless motor, у которых, в отличие от DC brushless motor, обмотка статора выполняется с насыщением [1]. Насыщение статора в DC brushless motor предназначается для уменьшения пульсаций тока (соответственно момента) при использовании трапецеидальной обмотки.

Иногда термин DC brushless motor используется для двигателей с инверторным питанием от сети постоянного тока.

Обычно количество пар полюсов определяется количеством пар магнитов ротора. В таком случае соотношение механической скорости вращения и скорости вращения электромагнитного поля, равно 4...8 [3].

Одно из самых очевидных преимуществ вентильных двигателей с постоянными магнитами состоит в уменьшении диаметра ротора. Как следствие это приводит к меньшему моменту инерции ротора. Магниты могут быть как встроены в ротор, так и

располагаться на его поверхности. Сниженный момент инерции зачастую приводит к малым значениям соотношения момента инерции двигателя и момента инерции нагрузки, приведенного к его валу. Это усложняет настройку привода. Поэтому ряд производителей предлагают наряду со стандартным так же и повышенный – в 2...4 раза – момент инерции ротора.

На рисунке 2 представлен внешний вид ротора вентильного двигателя с постоянными магнитами.

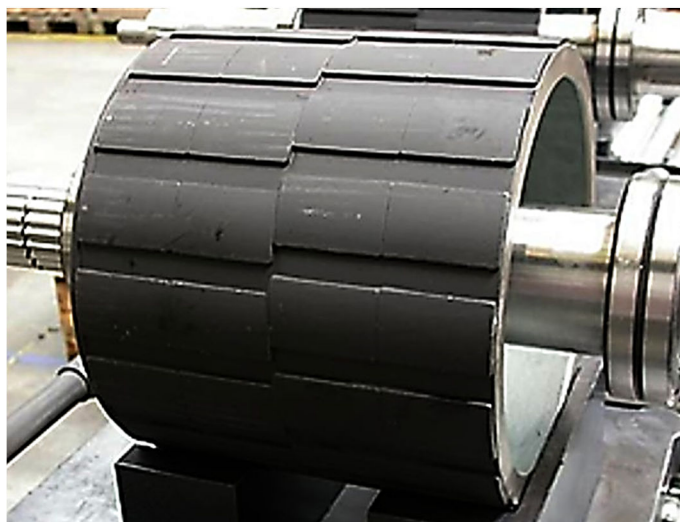


Рисунок 2 – Внешний вид ротора вентильного электродвигателя лифтовой установки с постоянными магнитами

Принцип действия вентильного двигателя состоит в том, что магниты, расположенные на роторе, создают постоянное магнитное поле. Вращающееся с синхронной скоростью магнитное поле статора, взаимодействуя с полем, создаваемым постоянными магнитами на роторе, приводит к созданию электромагнитной силы и вращающего электромагнитного момента двигателя [1, 2].

Поскольку энергия поступает как из электросети со стороны статора, так и со стороны постоянных магнитов ротора, то по сравнению с обычными асинхронными электродвигателями для получения электромагнитного момента одной и той же величины, требуется меньшее поступление электроэнергии из сети. Скорости вращения ротора и статора вентильного электродвигателя синхронизированы, так как магнитный поток статора и ротора сохраняется под углом 90° и соответственно скольжение между этими потоками равно нулю.

На рисунке 3 приведены в сравнении значения КПД вентильных и асинхронных электродвигателей для ряда мощностей. На рисунке 4 сравнительные характеристики [1–4].

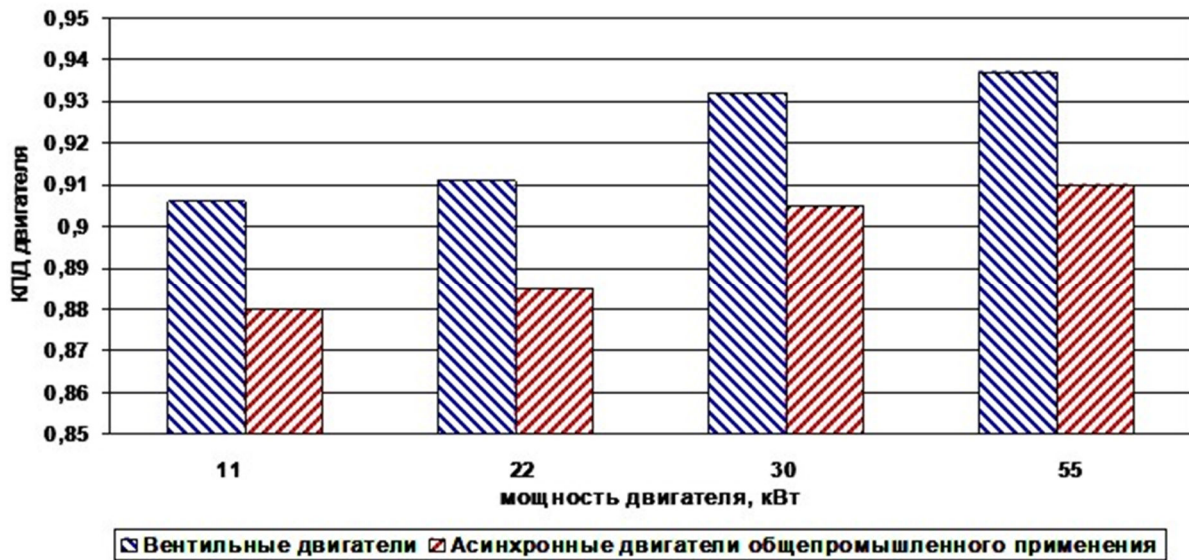


Рисунок 3 – КПД асинхронных и вентильных двигателей

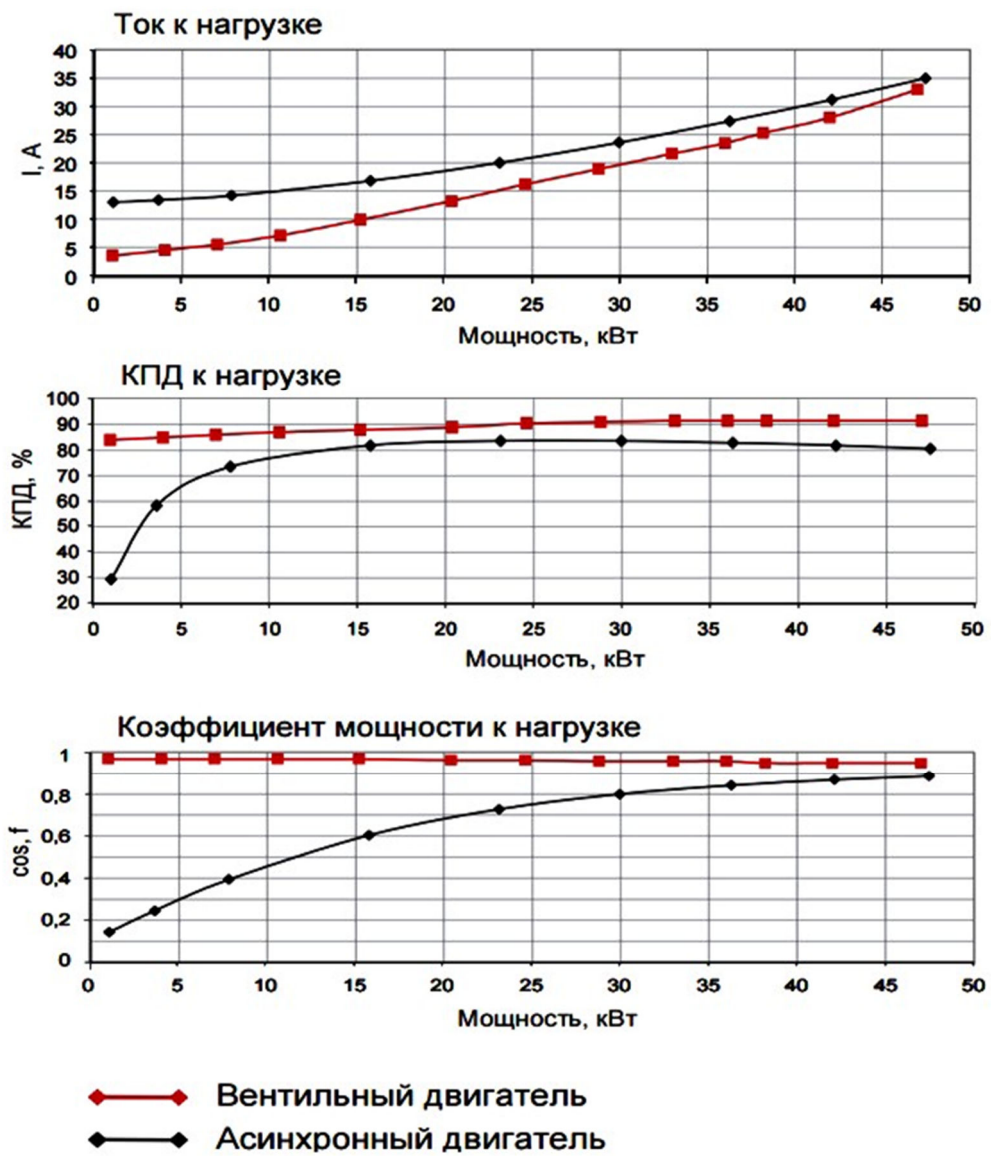


Рисунок 4 – Сравнительные характеристики вентильных и асинхронных двигателей

Список литературы

1. Кузнецов В.А. Вентильно-индукторные двигатели / В.А. Кузнецов, В.А. Кузьмичев. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 157 с.
2. Ильинский Н.Ф. Проектирование вентильно-индукторных машин общепромышленного назначения / Н.Ф. Ильинский [и др.] // Вестник МЭИ. – 2004. – № 1. – С. 37–43.
3. Кузнецов В.А. Особенности расчета индукторных двигателей для вентильного электропривода / В.А. Кузнецов [и др.] // Электротехника. – 1998. – № 6. – С. 35–42.
4. Голландцев Ю.А. Вентильные индукторно-реактивные двигатели. – СПб. : ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 148 с.

List of references

1. Kuznetsov V.A. Valve-inductor motors / V.A. Kuznetsov, V.A. Kuzmichev. – M. : MPEI Publishing House, 2002. – 157 p.
2. Ilyinsky N.F. Designing valve-inductor machines for general industrial purposes / N.F. Ilyinsky [et al.] // Vestnik MPEI. – 2004. – № 1. – P. 37–43.
3. Kuznetsov V.A. Features of calculation of inductor motors for valve electric drive / V.A. Kuznetsov [et al.] // Electrical engineering. – 1998. – № 6. – P. 35–42.
4. Hollandtsev Yu.A. Switched reluctance motors. – SPb. : State Scientific Center of the Russian Federation – Central Research Institute «Electropribor», 2003. – 148 p.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ КРЕПЛЕНИИ СКВАЖИН
В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**APPLICATION OF HYDRO-PULSED INFLUENCE WHEN
CASTING WELLS IN DIFFICULT CONDITIONS**

Фурсин Сергей Георгиевич

доцент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
cgfursin@mail.ru

Аль-Идриси Мохаммед Салех

аспирант кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
mohammed734488@mail.ru

Гнеуш Владислав Сергеевич

магистр кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный технологический университет
vladn8908@yandex.ru

Аннотация. Обязательным условием качественного цементирования нефтяных и газовых скважин является герметичная изоляция заколонного пространства, при которой проявления пластовых флюидов не возникают на протяжении всего срока эксплуатации скважины. Межпластовые перетоки, затрубные проявления являются результатом негерметичности цементного кольца по различным причинам. Для обеспечения герметичности заколонного пространства в зоне контакта «цементный камень – обсадная труба» и «цементный камень – порода» должно развиваться определенное давление со стороны камня. Поэтому герметичность скважин в большей степени зависит от объемных измене-

ний цементного камня при его твердении. Этого можно достичь применением тампонажных смесей, способных расширяться в процессе структурообразования (расширяющиеся тампонажные цементы (РТЦ)).

В статье рассмотрен способ повышения качества цементирования обсадных колонн при снижении аварийности работ, а также упрощение устройства для осуществления данного способа и повышение надёжности его работы.

Ключевые слова: ультразвуковая обработка, цементирование скважин, гидроимпульсное воздействие, дроссель

Fursin Sergey Georgievich

Associate Professor of the Department of Oil and Gas Affairs
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
cgfursin@mail.ru

Al-Edresi Mohammed Saleh

PhD student in the Department of Oil and Gas Affairs
named after Professor G.T. Vartumyan,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban State Technological University
mohammed734488@mail.ru

Gneush Vladislav Sergeevich

Master of the Department of Oil and Gas Business
named after Professor G.T. Vartumyan,
Kuban State Technological University
vladn8908@yandex.ru

Annotation. A prerequisite for high-quality cementing of oil and gas wells is the hermetic isolation of the backwater space, in which the manifestations of reservoir fluids do not occur throughout the life of the well. Interplastic flows, annular manifestations are the result of leakage of the cement ring for various reasons. In order to ensure the tightness of the column space, a certain pressure from the stone should develop in the contact zone «cement stone – casing pipe» and «cement stone – rock». Therefore, the tightness of wells depends more on the

volume changes of the cement stone during its hardening. This can be achieved by using grouting mixtures capable of expanding in the process of structure formation (expanding grouting cements (RTCs)). The article discusses a way to improve the quality of casing cementing while reducing the accident rate of work, as well as simplifying the device for implementing this method and increasing the reliability of its operation. The article discusses a method for improving the quality of casing cementing while reducing the accident rate of work, as well as simplifying the device for implementing this method and increasing the reliability of its operation.

Keywords: ultrasonic treatment, well cementing, hydraulic pulse action, throttle.

Цементирование обсадной колонны – одна из самых ответственных операций, от успешности которой зависит долговечность и дальнейшая нормальная эксплуатация скважины.

Цементирование – закрепление обсадной колонны на стенке ствола скважины и отсечение избыточных флюидов от попадания в ствол скважины посредством нагнетания цементного раствора по обсадной трубе и вверх по кольцевому зазору.

Это процесс закачивания тампонажного раствора в пространство между обсадной колонной и стенкой скважины.

Способ цементирования выбирают в зависимости от вида колонны, спущенной в пробуренный ствол (сплошной или хвостовика).

Крепление скважин осуществляется для разобщения нефтегазоносных пластов от всех вышележащих с обязательным одновременным разобщением нефтесодержащих и газосодержащих пластов друг от друга и защиты обсадных труб от корродирующего действия минерализованных вод, циркулирующих в недрах.

Поэтому спущенные в скважину обсадные колонны должны быть зацементированы путем закачки тампонажного материала в кольцевое пространство между стенками скважины и обсадной колонны.

Крепление скважин как термин описывает процесс укрепления ее стенок, который может быть реализован как с помощью обсадных труб, так и с использованием тампонажных составов.

Наиболее часто применяется технология последовательного спуска и цементированя ряда элементов: направляющей, эксплуатационной и промежуточной колонны, а также кондуктора.

Процедура крепления скважин требует проведения ряда профилактических работ, в числе которых – измерение размера скважины и ее объема, а также исследование ее поперечного сечения для определения его размера и формы. Все эти данные необходимы для правильного расчета требуемого количества цементирующего состава. Кроме того, перед началом работ по креплению скважин производят замеры пластового давления, давления гидроразрыва пласта и гидростатического давления в скважине. На основе этой информации определяется количество зон крепления.

Помимо предварительного исследования самой скважины подвергаются проверке и используемые для крепления скважин обсадные трубы. Для того, чтобы убедиться в их надежности проводится визуальный осмотр и гидравлическое испытание на внутреннее давление. Таким образом определяется соответствие труб необходимым стандартам и их пригодность к использованию.

Обсадная колонна из соединенных между собой обсадных труб (при помощи сварки или муфтовых соединений), как правило, спускается в скважину за один прием. После спуска обсадных колонн начинается процесс цементированя скважины, для чего в трубы закачивается тампонажный состав, вытесняемый затем в заколонное пространство. Реализация данного процесса позволяет обеспечить герметичность колонны, а также исключает возможность сообщения пластов между собой и с поверхностью.

Одно из устройств, которое применяется для крепления скважины в осложнённых условиях, содержащее измерительные датчики параметров крепления, входную линию для закачки тампонажного раствора через осреднительную ёмкость, блок манифольдов и цементировочную головку в обсадную колонну, входную линию для закачки буферной и продавочной жидкости в обсадную колонну через цементировочную головку, выходную линию технологических жидкостей и гидромолот, подключаемый либо к входной линии закачки тампонажного раствора и цементировочной головке, либо к выходной линии тампонажного раствора и затрубному пространству, при этом гидромолот содержит буровой рукав, задвижку, излучатель силовых волн, трубопроводы для подачи и сброса масла и воздуха, компрессор, насосную станцию и устройство управления [2].

Основным недостатком способа и обеспечивающего его реализацию устройства – гидромолота является то, в сложных термобарических условиях глубокой скважины отсутствует возможность регулируемого опережающего от забоя к устью последовательного схватывания столба тампонажного раствора в затрубном пространстве, что снижает качество цементирования, ведёт к заколонным проявлениям, межколонным давлениям (МКД) и другим осложнениям. Кроме того, не учитываются отрицательные последствия удаления глинистой корки, связанные с проникновением тампонажного раствора в пласт, его обезвоживанием и преждевременным схватыванием на уровне высокопроницаемых интервалов, что также снижает качество цементирования обсадных колонн. Сам гидромолот представляет собой довольно сложное устройство с большим рассеиванием энергии на устье и низким К.П.Д. В случае подключения гидромолота к входной линии гидроимпульсы через толстую стенку обсадной колонны практически не передаются и не воздействуют на тампонажный раствор в затрубном пространстве. Необходимое воздействие происходит только после выхода гидроимпульсов из башмака обсадной колонны, но уже с меньшей амплитудой вследствие затухания сигнала. Аналогично при подключении гидромолота к выходной линии гидроимпульсы не передаются внутрь обсадной колонны, а распространяются только по затрубному пространству. Отмеченные явления также снижают качество и технологичность цементирования скважины. Кроме того, использование при креплении скважины мощных периодических импульсов давления (гидроимпульсов) большой амплитуды приводит к вынужденному раскачиванию обсадной колонны. В глубоких скважинах при резонансных явлениях тяжёлой обсадной колонны это ведёт к разгерметизации соединений, нарушению целостности колонны вплоть до её разрушения и падения.

Также известно устройство для крепления скважины в осложнённых условиях, содержащее измерительные датчики параметров крепления, входную линию для закачки тампонажного раствора через осреднительную ёмкость, блок манифольдов и цементировочную головку в обсадную колонну, входную линию для закачки буферной и продавочной жидкости в обсадную колонну через цементировочную головку, превентор для герметизации затрубного пространства обсадной колонны и выходную линию с дросселирующим элементом [3]. Недостатком способа и

обеспечивающего его реализацию устройства является невозможность их использования в благоприятном режиме гидроимпульсного воздействия на тампонажный раствор, продавливаемый в затрубное пространство. Это ведёт к неполному замещению бурового раствора, плохому удалению глинистой корки со стенки скважины и в конечном итоге к снижению качества процесса цементирования.

Способ, предлагаемый нами, позволяет повысить качество цементирования обсадных колонн при снижении аварийности работ, а также упрощение устройства и повышение надёжности его работы. Это достигается тем, что согласно изобретению равномерно затворяемый на устье объём тампонажного раствора разбивают на 5 ÷ 10 равных порций, которые последовательно закачивают в обсадную колонну с нарастающей активацией путём их ультразвуковой обработки, при этом в каждой закачиваемой порции раствора пропорционально повышают мощность ультразвукового на них воздействия для создания в затрубном пространстве опережающего от забоя к устью последовательного схватывания указанных порций столба тампонажного раствора, а гидроимпульсное воздействие на устье проводят одновременно в низкочастотном и высокочастотном диапазоне с использованием двух дросселирующих элементов, причём продавку тампонажного раствора в затрубное пространство проводят при ускоренном замещении удаляемой глинистой корки цементной коркой, которую интенсивно наращивают на стенке скважины из дополнительной пачки водно-цементной суспензии продавливаемой перед тампонажным раствором в режиме одновременного высокочастотного и низкочастотного гидроимпульсного воздействия, а по окончании продавки тампонажного раствора в затрубное пространство переходят на поверхностную циркуляцию продавочной жидкости и продолжают гидроимпульсное воздействие как внутри, так и с наружи обсадной колонны, при этом гидроимпульсы высокой частоты используют для дополнительного замедления схватывания столба тампонажного раствора в верхней его части, а гидроимпульсы низкой частоты для дополнительного ускорения схватывания столба в нижней его части, при этом контролируют воздействие гидроимпульсов на резонансно-силовые параметры обсадной колонны путём прямого измерения её веса и при нарастании колебаний веса колонны изменяют параметры гидроимпульсного воздействия, например, фазу, частоту или амплиту-

ду гидроимпульсов на дросселирующем элементе, исключая наступление резонанса и нарушение обсадной колонны [1].

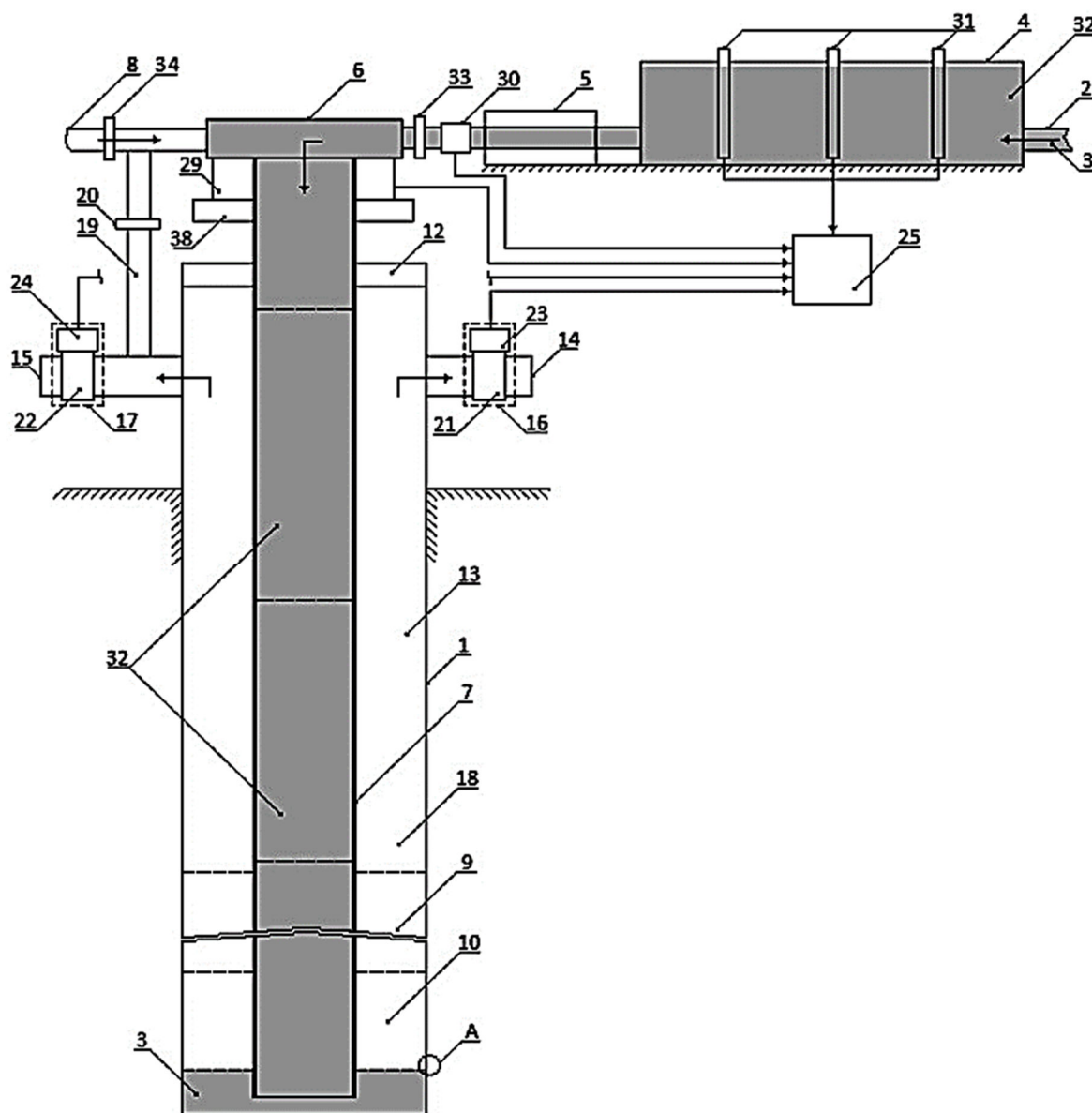


Рисунок 1 – Схема устройства для крепления скважины в осложнённых условиях, начало продавки тампонажного раствора в затрубное пространство

При креплении скважины в осложнённых условиях проводят подготовку её ствола 1 (рис. 1) к цементированию и спускают обсадную колонну – 7 до забоя. Обвязывают устье скважины осреднительной ёмкостью – 4, блоком манифольдов – 5, цементировочной головкой – 6, входными линиями – 2 и 8. В затрубном пространстве – 13 под превентором – 12 дополнительно к первой – 14 устанавливают вторую – 15 выходную линию соответственно с первым – 16 и вторым – 17 дросселирующими элементами в виде ша-

ровых затворов – 21, 22 и вентиляльных двигателей – 23, 24, которые подключают к блоку контроля – 25. К блоку контроля – 25 также подключают датчик веса – 29 обсадной колонны – 7, расходомер – 30 закачки тампонажного раствора – 3 и регулируемый по мощности воздействия ультразвуковой активатор – 31 в виде нескольких элементов, установленных в осреднительной ёмкости – 4. Для возможности поверхностной циркуляции продавочной жидкости через дросселирующие элементы – 16, 17 и затрубное пространство – 13 монтируют дополнительную входную линию – 19 с краном – 20. Далее промывают ствол – 1, приготавливают технологические жидкости согласно заданной рецептуре конкретной скважины и по прямой схеме проводят цементирование обсадной колонны – 7. В цементировочную головку – 6 по входным линиям – 2, 8 (манипулируют кранами – 33, 34; кран – 20 дополнительной входной линии – 19 закрыт) цементировочными агрегатами закачивают буферную жидкость – 9, пачку водно-цементной суспензии – 10 и тампонажный раствор – 3. На выходе из скважины технологические жидкости прокачиваются с избыточным давлением на устье через дросселирующие элементы – 16, 17 выходных линий – 14, 15 (при закрытом положении превентора – 12). При этом равномерно затворяют и закачивают в обсадную колонну – 7 определённый объёмом тампонажного раствора – 3 через осреднительную ёмкость – 4, блок манифольдов – 5 и цементировочную головку – 6. При закачке весь объём тампонажного раствора – 3 с помощью расходомера – 30 разбивают на $5 \div 10$ равных порций – 32. Эти, например шесть порций – 32 тампонажного раствора – 3 последовательно закачивают в обсадную колонну – 7 с нарастающей их активацией путём ультразвуковой обработки в течение нескольких минут нахождения каждой порции – 32 в осреднительной ёмкости – 4. Для этого используют регулируемый по мощности воздействия ультразвуковой активатор – 31 представленный несколькими элементами, равномерно рассредоточенными в осреднительной ёмкости – 4. По сигналу расходомера – 30 после закачки в обсадную колонну – 7 очередной порции – 32 порядка 10 м^3 блок контроля – 25 ступенчато на определённую величину повышает мощность ультразвукового активатора – 31, который в новом более мощном режиме в течение нескольких минут воздействует на следующую прокачиваемую через осреднительную ёмкость – 4 порцию – 32 тампонажного раствора – 3. Таким образом, после закачки и продавки всего объёма тампонажного раствора – 3 в затрубном

пространстве – 13 образуется столб из шести порций 32 с опережающим от забоя к устью их последовательным схватыванием. Продавку тампонажного раствора – 3 в затрубное пространство – 13 проводят при гидроимпульсном воздействии на устье одновременно в низкочастотном и высокочастотном диапазоне, используя два дросселирующих элемента – 16, 17. При этом с помощью блока контроля – 25 и вентильных двигателей – 23, 24 периодически закрывают-открывают шаровые затворы – 21, 22 на двух разных частотах и в затрубном пространстве – 13 создают гидроимпульсы низкой (на дросселирующем элементе – 16) и гидроимпульсы высокой (на дросселирующем элементе – 17) частоты. При этом буровой раствор – 18 замещают тампонажным раствором – 3, а удаляемую глинистую корку – цементной коркой – 27 (рис. 3), которую интенсивно наращивают за счёт дополнительного высокочастотного воздействия дросселирующим элементом – 17 на пачку – 10 водно-цементной суспензии продавливаемой перед тампонажным раствором – 3. Оперативно создаваемая цементная корка – 27 препятствует уходу в проницаемый пласт – 26 тампонажного раствора – 3, его обезвоживанию и неравномерному по глубине схватыванию. Высокочастотное гидроимпульсное воздействие дросселирующим элементом – 17 также способствует качественной кольматации – 28 проницаемого пласта – 26 мелкой фракцией порошка пачки 10 водно-цементной суспензии. По окончании продавки тампонажного раствора – 3 (рис. 2) открывают кран – 20 дополнительной входной линии – 19, закрывают кран – 33 и переходят на поверхностную циркуляцию продавочной жидкости – 11 в течение времени ОЗЦ через первый – 16 и второй – 17 дросселирующие элементы и затрубное пространство – 13. При этом с помощью блока контроля – 25, вентильных двигателей – 23, 24 и шаровых затворов – 21, 22 продолжают гидроимпульсное воздействие одновременно в низкочастотном и высокочастотном диапазоне на тампонажный раствор – 3. Причём это воздействие осуществляют как внутри (через входные линии – 19, 8 и цементировочную головку – 6), так и с наружи обсадной колонны – 7 по затрубному пространству – 13. При этом гидроимпульсы высокой частоты с большим затуханием, посылаемые дросселирующим элементом – 17 достаточно большой амплитуды, нарушают структурирование и дополнительно замедляют схватывание (эффект тиксотропии) только верхней части столба раствора. Одновременно гидроимпульсы низкой частоты малого затухания, посылаемые дросселирующим

элементом – 16 пониженной амплитуды, доходят до забоя и дополнительно ускоряют схватывание столба раствора (эффект реопексии) в нижней его части. В процессе продавки тампонажного раствора – 3 с помощью датчика – 29 и блока контроля – 25 непосредственно измеряют колебания веса – 35 обсадной колонны – 7 под воздействием мощных периодических импульсов давления – гидроимпульсов (рис. 4). В случае приближения к резонансным явлениям и выходе аномалии – 36 веса колонны за установленный порог – 37 сразу же через блок контроля – 25, вентильные двигатели – 23, 24 и шаровые затворы – 21, 22 изменяют параметры гидроимпульсного воздействия, например, частоту или фазу посылки гидроимпульсов. Это позволяет оперативно избежать опасный разрушающий обсадную колонну – 7 резонанс без прекращения процесса цементирования в прежнем режиме.

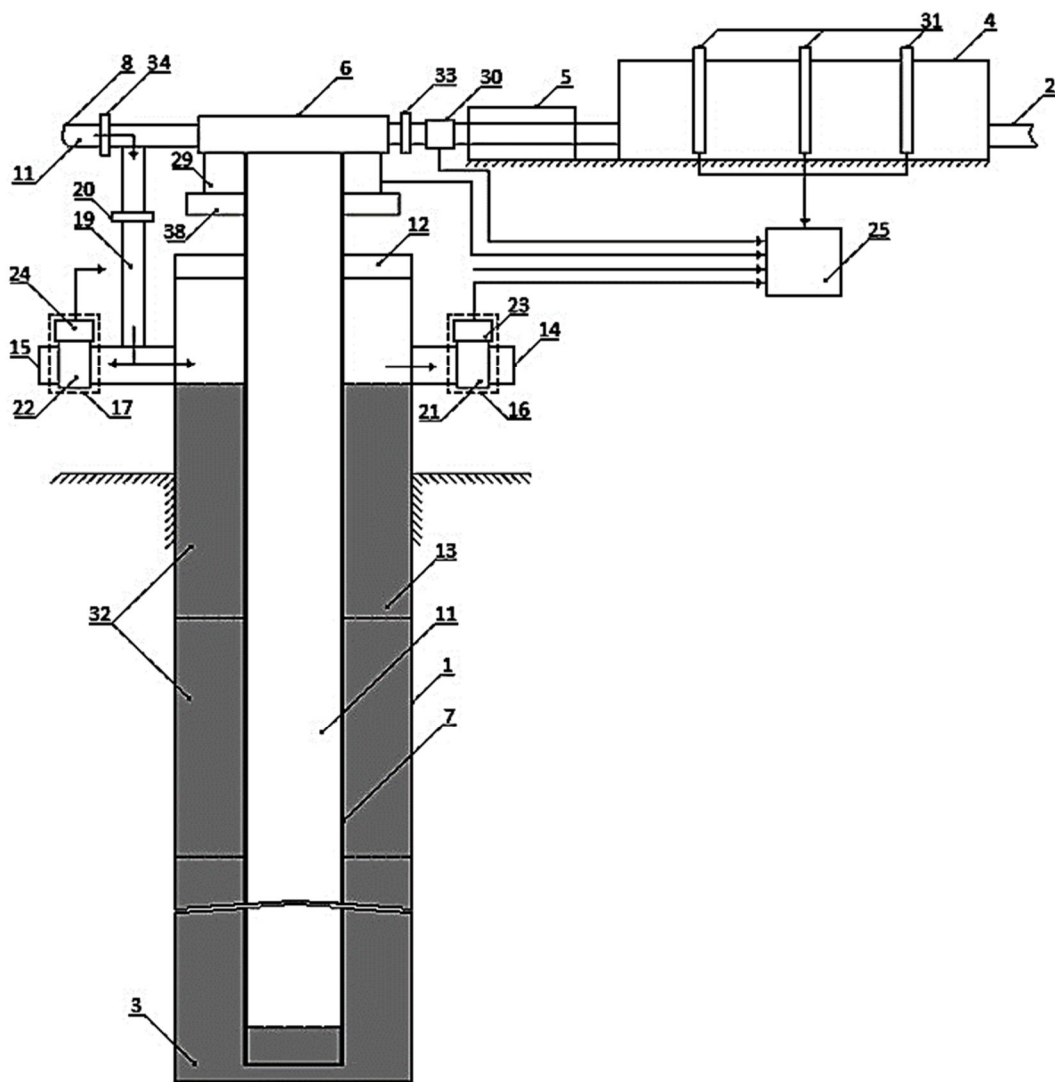


Рисунок 2 – Схема окончание продавки тампонажного раствора в затрубное пространство и переход на поверхностную циркуляцию продавочной жидкости

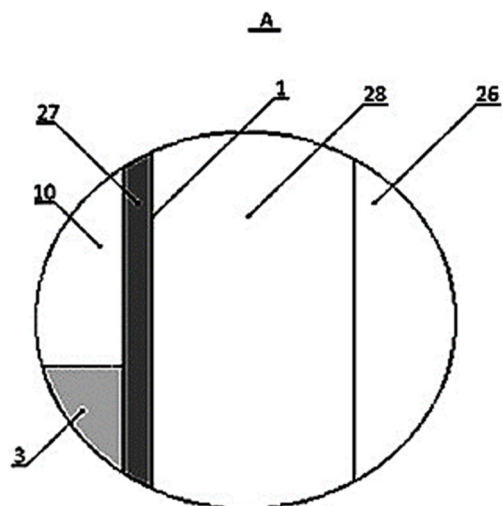


Рисунок 3 – Часть приствольной зоны А на рисунке 1

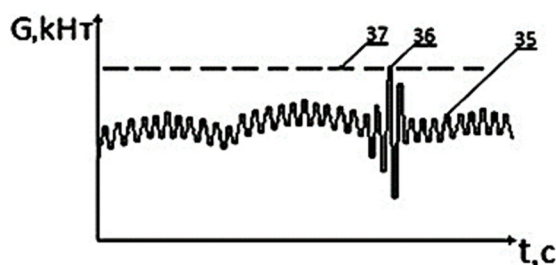


Рисунок 4 – диаграмма колебаний веса обсадной колонны на устье скважины под воздействием периодических гидроимпульсов

Использование предлагаемого способа и устройства позволяет уменьшить отрицательные последствия (уход тампонажного раствора в пласт, его обезвоживание и преждевременное неравномерное схватывание) удаления глинистой корки путём ускоренного замещения её цементной коркой, обладающей хорошим сцеплением с основным раствором. Для повышения трещиностойкости крепи скважины в условиях жестких динамических нагрузок цементная корка, формируемая из дополнительной пачки водно-цементной суспензии, может дополнительно включать армирующее, например базальтовое волокно. Использование шаровых затворов с вентильными двигателями в выходных подпревенторных линиях возможно разного проходного сечения позволяет одновременно и максимально просто создавать в скважине гидроимпульсы необходимой амплитуды и различной частоты. Регулируемая ультразвуковая обработка закачиваемых отдельных порций тампонажного раствора позволяет точно без дополнительной химии получить необходимое в затрубном пространстве опережающее от забоя к устью схватывание раствора. Использование в период ОЗЦ гидроимпульсов одновременно низкой и вы-

сокой частоты позволяет дополнительно регулировать и улучшать схватывание столба тампонажного раствора в затрубном пространстве. Кроме того, прямой контроль воздействия гидроимпульсов большой амплитуды на резонансно-силовые параметры тяжёлой обсадной колонны способствует снижению аварийных ситуаций при креплении глубоких скважин в осложнённых условиях, в том числе зонах АВПД, многолетнемерзлых породах (ММП) и других. Использование предлагаемого способа и устройства также возможно при обратной схеме цементирования (с установкой дросселирующих элементов на цементировочной головке), креплении горизонтальных окончаний скважин, а также непосредственно в процессе углубления скважины в открытом стволе, например для улучшения тампонирующего поглощающих интервалов цементным раствором, вязкоупругими смесями (ВУСами) и другими агентами.

Список литературы

1. Патент № 2781458 С1 Российская Федерация, МПК E21B 33/14, E21B 28/00. Способ крепления скважины в осложнённых условиях и устройство для его осуществления: № 2022107056: заявл. 17.03.2022: опубл. 12.10.2022 / С.Г. Фурсин, М.С.А.Х. Аль-Идриси; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».

2. Патент № 2736429 С1 Российская Федерация, МПК E21B 33/14, E21B 28/00. Способ цементирования скважины: № 2020109589: заявл. 04.03.2020: опубл. 17.11.2020 / С.С. Новиков, О.П. Новикова, М.С. Новиков, Р.С. Илалов; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ПКФ «Недра-С».

3. Цибульский М.А. Цементирование скважин под управляемым давлением / М.А. Цибульский, А.Е. Головкин, А.В. Фоменков // Бурение и нефть. – 2019. – № 3. – С. 36–38.

List of references

1. Patent № 2781458 C1, Russian Federation, МПК E21B 33/14, E21B 28/00. Method of well fastening in complicated conditions and device for its implementation: № 2022107056: declared. 17.03.2022: publ. 12.10.2022 / S.G. Fursin, M.S.A.H. Al-Idrisi; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Technological University».

2. Patent № 2736429 C1, Russian Federation, МПК E21B 33/14, E21B 28/00. Well cementing method: № 2020109589: declared. 04.03.2020: publ. 17.11.2020 / S.S. Novikov, O.P. Novikova, M.S. Novikov, R.S. Ilalov; Applicant Limited Liability Company PKF Nedra-S.

3. Tsibulsky M.A. Cementing wells under controlled pressure / M.A. Tsibulsky, A.E. Golovko, A.V. Fomenkov // Drilling and oil. – 2019. – № 3. – P. 36–38.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКОСТИ НА КОНСТРУКЦИЮ НАСОСОВ

INFLUENCE OF LIQUID TEMPERATURE ON PUMP DESIGN

Шарбатов Вадим Арменович

студент кафедры «Оборудования нефтяных
и газовых промыслов»

Института нефти, газа и энергетики,

Кубанский государственный технологический университет

vadiksharbatov@yandex.ru

Аннотация. Зависимость конструкции и характеристик насосов от температурного расширения.

Ключевые слова: критические условия эксплуатации, подшипник, закон теплового расширения, сальник, опорные лапы, высокотемпературный насос.

Sharbatov Vadim Armenovich

Student of the Department

«Equipment for oil and gas fields»

Institute of Oil, Gas and Energy,

Kuban State Technological University

vadiksharbatov@yandex.ru

Annotation. The dependence of the construction and characteristics of pumps on temperature expansion.

Keywords: critical operating conditions, bearing, law of thermal expansion, oil seal, support legs, high-temperature pump.

Обычные конструкции центробежных насосов могут применяться для подачи воды с температурой до 80 °С. В некоторых случаях по согласованию с заводом изготовителем допускается повышение температуры до 105 °С. Дальнейшее повышение температуры воды отражается на конструкциях некото-

рых элементов насоса. Это влияние распространяется на конструкции подшипников, сальников, способов крепления корпуса насоса или его секций к станине (плите) и т.д.

Сальники насосов являются их важными элементами. У насосов для горячих жидкостей сальники требуют особое внимание. Сальники таких насосов выполняются, как правило, охлаждаемыми. Здесь возможны различные конструктивные формы, как с внешним подводом теплоты, так и с отводом теплоты водой, непосредственно омываемой поверхностью втулок сальника.

Простейшая конструкция сальник представлена (рис. 1); по трубке *a* поступает вода, если по ней подводить воду не из напорного патрубка насоса, а из трубопровода холодной воды, то при помощи распределительного кольца *b* будет происходить не только уплотнение, но и достаточно равномерное охлаждение вала. Холодная вода, равномерно обволакивая вал в области кольца *b*, стремится растекаться через малейшие неплотности между поверхностью вала и набивкой и, проникая наружу и частично внутрь насоса, эффективно отводит тепло от поверхности трения. Сальник такого типа не следует сильно затягивать; он должен пропускать воду тонкой струйкой или быстро выбегающими каплями.

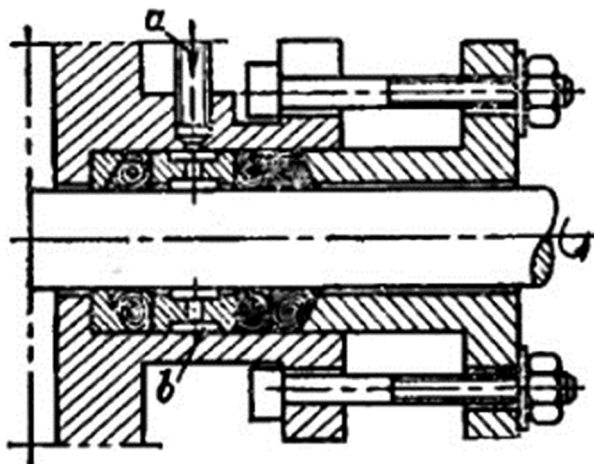


Рисунок 1 – Сальник с мягкой набивкой и водяным уплотнением

Обычная схема расположения опорных лап корпуса насоса показана (рис. 2, а). Насос находится слева, а двигатель справа. Расположение лап здесь ниже. Применение такой конструкции в насосах для горячих жидкостей вызывает существенное затруднение с центровкой насоса и двигателя, если они непосредственно соединяются при помощи муфт.

Действительно, правильная центровка, произведённая при низкой монтажной температуре (рис. 2, а), неизбежно нарушится в течение короткого периода после пуска, как только насос разогреется до своей рабочей температуры. Размер l , м, для электродвигателя практически остаётся без изменений, а для насоса он изменится за счёт тепловой деформации:

$$\Delta l = 0.012l \cdot \Delta t. \quad (2)$$

Таким образом, после разогрева насоса совпадение геометрических осей насоса и двигателя нарушается и возникает вибрация агрегата. Это обстоятельство заставляет располагать опорные поверхности лап насоса на уровне геометрических осей насоса (рис. 2, б). При этом тепловые деформации насоса будут распространяться симметрично и нарушений центровки при разогреве наблюдаться не будет.

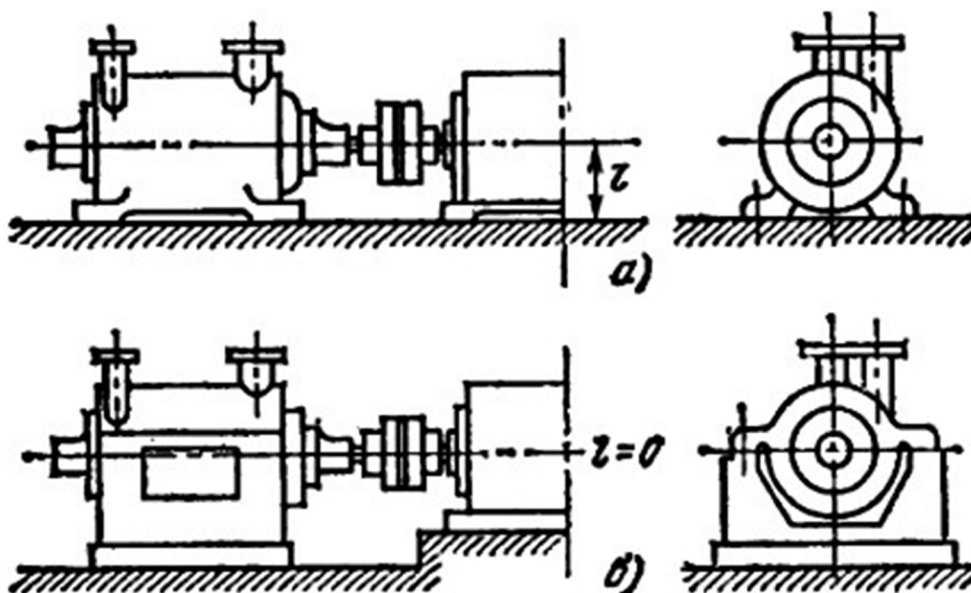


Рисунок 2 – Зависимость конструкции и расположения насоса при различных температурных режимах:
 а) обычное расположение элементов;
 б) расположение конструкции с симметричным расширением

Если в насосах для горячих жидкостей не предусмотрена компенсация тепловых деформаций, то возникают местные пере-напряжения в материале, опасные для машины. В таких насосах секционного типа в тяжёлых условиях находятся стяжные болты, затягиваемые при монтажной (относительно низкой) температуре.

При разогреве насоса температура стяжных болтов не достигает температуры секций, т.к. они лежат вне секций, омывае-

мых с внутренней стороны жидкостью высокой температуры. Возникающая разность тепловых деформаций вызывает в резьбовой части болтов перенапряжение материала. Тепловые деформации металлорежущего станка, связанные с неравномерным нагревом основных узлов станка и их последующим тепловым расширением являются одним из наиболее весомых факторов, влияющих на точность обработки.

Таким образом, для работы насосов, перекачивающих жидкости необходимо, чтобы каждый из элементов имел охлаждение или должен быть теплостойким, металлическая конструкция при прокачивании горячей жидкости расширяется, потому необходимо соблюдать меры предосторожности. Это делается с целью получить безопасную конструкцию, в которой расширение металла будет находиться под контролем. И в итоге, как выяснилось выше, это соблюдается при практическом наблюдении закона линейного и объемного расширения.

Список литературы

1. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях / И.В. Кудинов [и др.]. – 2021. – 208 с.
2. Теплонасосные установки в отраслях агропромышленного комплекса / Б.С. Бабакин [и др.]. – 2022. – 336 с.
3. Пташкина-Гирина О.С. Основы гидравлики / О.С. Пташкина-Гирина, О.С. Волкова. – 2021. – 212 с.
4. Замалеев З.Х. Основы гидравлики и теплотехники / З.Х. Замалеев, В.Н. Посохин, В.М. Чефанов. – 2022. – 352 с.
5. Моргунов К.П. Гидравлика – 2022 г. – 288 с.

List of references

1. Mathematical modeling of hydrodynamics and heat transfer in moving liquids / I.V. Kudinov [et al.]. – 2021 – 208 p.
2. Heat pump installations in the branches of the agro-industrial complex / B.S. Babakin [et al.]. – 2022. – 336 p.
3. Ptashkina-Girina O.S. Fundamentals of hydraulics / O.S. Ptashkina-Girina, O.S. Volkova. – 2021. – 212 p.
4. Zamaleev Z.H. Fundamentals of hydraulics and heat engineering / Z.H. Zamaleev, V.N. Posokhin, V.M. Cefanov. – 2022. – 352 p.
5. Morgunov K.P. Hydraulics. – 2022. – 288 p.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛЕВОГО ПОРШНЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

THE USE OF THE GEL PISTON CIN THE MODERN WORLD

Шарбатов Вадим Арменович

студент кафедры «Оборудования нефтяных
и газовых промыслов»

Института нефти, газа и энергетики,

Кубанский государственный технологический университет

vadiksharbatov@yandex.ru

Аннотация. Зависимость конструкции и характеристик насосов от температурного расширения.

Ключевые слова: критические условия эксплуатации, подшипник, закон теплового расширения, сальник, опорные лапы, высокотемпературный насос.

Sharbatov Vadim Armenovich

Student of the Department

«Equipment for Oil and Gas Fields»

Institute of Oil, Gas and Energy,

Kuban State Technological University

vadiksharbatov@yandex.ru

Annotation. The dependence of the construction and characteristics of pumps on temperature expansion.

Keywords: critical operating conditions, bearing, law of thermal expansion, oil seal, support legs, high-temperature pump.

К акая физико-химическая природа геля?
Гелевый поршень устроен таким образом, что в нём основную функцию несёт гель в виде поршня, это представлено в виде заполненного веществом участка трубы необходимого диаметра. При этом сам гель, с одной стороны, обла-

дает физическими свойствами, которые позволяют быть гелю упругим и вязким, а с химической точки зрения, гель имеет свойства растворять в себе вещества (а также адсорбция их). Применение геля как особой среды обосновано тем, что он имеет механические свойства. Наличие трёхмерного полимерного каркаса даёт гелям свойства твёрдых тел: отсутствие текучести, способность сохранять форму, прочность и способность к деформации.

Метод очистки происходит за счет нескольких процессов. В первую очередь это химическое растворение, поглощение веществ. Сам гель является композитом, состоящим из следующих веществ:

- 1) гелеобразователя, связующего вещества, обладающего определенными физическими свойствами;
- 2) органических растворителей, участвующих в процессе адсорбции;
- 3) неорганических растворителей;
- 4) добавка улучшающих физико-химические свойства.

Гелеобразователь. Основой для изготовления служит полиакриламид (ПАА), декстран, полистирол или каучук, который после образования разветвленной структурной сетки приобретает вязкоупругие свойства. Структура геля заполняется дисперсионной средой, например водой. Благодаря создаваемому расклинивающему эффекту при перемещении поршня полностью перекрывается сечение нефтяного трубопровода. Хвостовая часть гелевого разделителя по ходу его движения собирает все грязе-парафиновые отложения.

Органический и неорганический сшивающий агент. Сшивающие агенты – вещества, превращающие молекулы полимеров в твердые неплавкие и нерастворимые сетчатые полимеры. Причем роль органического сшивающего агента выполняет функциональной группы компонент. А роль неорганического сшивающего агента – соль минеральной кислоты. Этот агент наделяет гелевый поршень свойством нерастворимости в неорганических средах.

Углеводородная жидкость. Она представлена в виде растворителя, способного растворять функциональные группы отложений на стенках трубопровода. В качестве растворителей применяется именно углеводородная жидкость, так как соблюдается правило растворения веществ: подобное растворяется в подобном.

Потому органические вещества, представленные в виде асфальтено-смолистых веществ и газовых гидратов будут раство-

ряться в углеводородной жидкости. Вода, добавляемая в гель, участвует как неорганический растворитель. Таким образом, в геле есть 2 типа растворителей: полярный и неполярный. Рассматривая схему из рисунка 1 заметно, что механические примеси и сера будут растворяться водой, а остальные вещества углеводородной жидкостью. Подбор растворителя зависит от типа отложений на стенках.

Подбор растворителя сильно зависит от состава отложений в трубопроводе. Ведь могут возникнуть ситуации с проблемным растворением определённых веществ. Так парафины плохо растворимы в органических веществах, потому упор будет на улучшение физических свойств гелевого поршня, чтобы в результате парафин механическим воздействием очищался. А если вещества представлены в виде асфальтенов, то они будут растворяться углеводородными растворителями: в бензоле, хлороформе, сероуглероде, в ароматических растворителях, но не растворимы в алифатических растворителях. Также на выбор углеводородного растворителя влияет сочетание веществ в виде отложения в реальных трубопроводах (рис. 1).

Усреднённое содержание отложений на стенках трубопровода

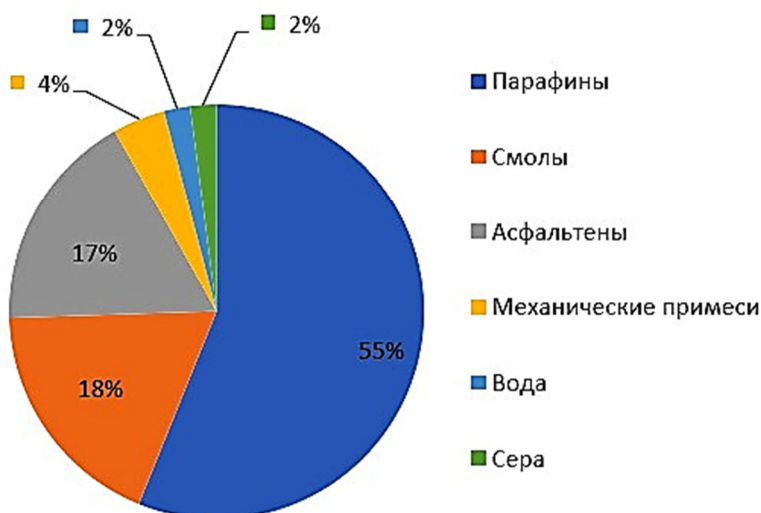


Рисунок 1 – Схема усреднённого содержания отложений на стенках трубопровода по опыту транспортировки конца 20 века

Далее рассмотрим возможные составы, которые могли применяться в гелевом поршне. Рассматриваются различного рода составы, которые имеют органическую основу. Оно имеет хоро-

шие физические свойства и обладает хорошими свойством регулировки упругости, вязкости и твердости. В это вещество возможно добавить различного рода модификаторы они делятся на следующие типы: полиакриламидный гель, сефакрилы, полистирольные смолы и др.

Полиакриламидный гель. Нити линейного полимера акриламида, сшитые N.N'-метиленабисакриламидом, образуют относительно жесткую и химически инертную пространственную сетку геля, хорошо удерживающую воду. Пористость и жесткость геля определяется процентным содержанием в нем полимера. Рабочий диапазон pH – 3–8. Он выдерживает контакт с разбавленными органическими кислотами, 8 М мочевиной, 6 М гуанидинхлоридом, детергентами. При замачивании гранулы сильно набухают и могут связывать, в зависимости от содержания вещества, от 3 до 30 мл воды на 1 г сухих гранул.

Сефакрилы. Гель-фильтрации на основе декстрана и N, N'-метиленабисакриламида. В ней удачно сочетаются качества сефадексов и ПААГ – нити декстрана и полимерные нити метиленабисакриламида. Получается очень жесткий гель, пористость которого легко контролировать. Он гидрофилен, химически инертен, выдерживает контакт с 8 М мочевиной, 6 М гуанидинхлоридом, детергентами и органическими растворителями. Рабочий диапазон pH – 2–11.

Полистирольные смолы. Нити линейного полимера полистирола, химически «сшитые» молекулами дивинилбензола в жесткую пространственную сетку, выпускаются в виде сухих сферических гранул под торговым названием «смола». Содержание дивинилбензола варьирует от 2 до 12 %, определяя средние размеры пор сетки. Немодифицированные полистирольные смолы гидрофобны. Модификация осуществляется присоединением ионогенных групп по остаткам бензола в параположении. Это придает смоле в целом гидрофильность, хотя возможность и склонность к гидрофобным взаимодействиям с фракционируемым материалом сохраняется. Химически они очень устойчивы (можно промывать 4 н. HCl и 2 н. NaOH) и выдерживают нагревание до 120 °С. При замачивании гранулы набухают, связывая от 1 до 3 мл воды на 1 г сухой смолы.

В итоге всегда нужно учитывать цели, которые преследуются для очистки определённых отложений, как например, рассмотрен-

ный выше пример с парафином и асфальтеном. К тому же необходимо учесть, что чем больше твердость геля, тем лучше будут проявляться механические характеристики, то есть твердость. Гель будет износостоек, иметь хорошие деформационные свойства: упругость, вязкость. Потому ставится цель – достижение максимальной возможной твердости и упругости материала. Однако же это сложно осуществить из-за малой изученности твердых и упругих материалов, а значит необходимо узнать, какое вещество могло бы в альтернативе использоваться вместо полиакриламида и добавок, улучшающих физические свойства геля. Также учитывается при этом устойчивость вещества к растворению другими веществами. Ведь важно сохранять равновесие между твердостью, упругостью материала и химической инертностью.

Какова конструкция гелевого поршня?

Конструкция гелевого поршня должна состоять из следующих элементов: самого гелевого поршня, разделительных устройств, отделяющих от нефти, нефтепродукта, газа. Далее всё это должно проталкиваться водой или другой инертной средой. Гелевый поршень вытесняет нефтепродукт или газ. Конструкция состоит из резинокордного герметизатора, поролоновых поршней № 1 и № 2, гелевый разделительный поршень на рисунке 2.

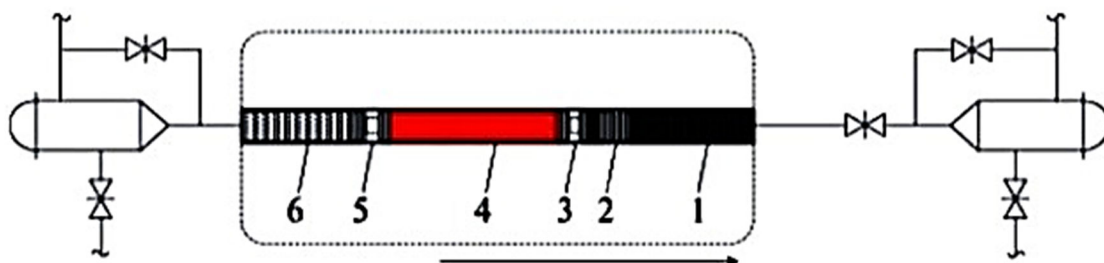


Рисунок 2 – Конструкция гелевого поршня.

Устройство вытесняющей технологической цепочки:

- 1 – нефтепродукт; 2 – резинокордный герметизатор;
- 3 – поролоновый поршень № 1; 4 – гелевый разделительный поршень;
- 5 – поролоновый поршень № 2; 6 – вытесняющая среда

Для обеспечения движения гелевого поршня конструкция должна иметь: поршни, так как они являются искусственной стенкой для разделения различного рода сред. В данном случае представлены поролоновые поршни, а также герметизаторы резинокордные (ГРК). Они предназначены для оперативного перекрытия трубопровода с целью проведения профилактических ра-

бот по очистке. Гелевый разделительный поршень предназначен для чистки трубопровода.

Нефтепродуктопроводы в процессе эксплуатации подвергаются сильнейшему воздействию различных вредных факторов. Поэтому первоочередной задачей является поддержание трубопроводов в работоспособном состоянии, регулярной диагностики и очистке внутренней полости. Потому применение гелевых поршней в настоящее время действительно перспективное направление.

Список литературы

1. Физические основы специальных методов транспорта нефти и газа : методические указания / Сост. Д.Н. Галдин. – Воронеж : ВГТУ, 2022. – 36 с.
2. Строительство нефтяных и газовых скважин. Практикум : учеб. пособие / Сост. И.В. Мурадханов, Р.Г. Чернявский. – Ставрополь : СКФУ, 2018. – 106 с.
3. Дерябин И.В. Основы технической диагностики объектов транспорта и хранения нефти и газа : учеб. пособие. – Тольятти : ТГУ, 2021. – 152 с.
4. Щипанов А.В. Безопасность технологических процессов при транспорте нефти и газа : учебно-методическое пособие. – Тольятти : ТГУ, 2018. – 256 с.
5. Щипанов А.В. Безопасность технологических процессов при транспорте нефти и газа : учебно-методическое пособие. – Тольятти : ТГУ, 2018. – 256 с.

List of references

1. Physical basis of special methods of oil and gas transport: guidelines / Compiled by D.N. Galdin. – Voronezh : VSTU, 2022. – 36 p.
2. Construction of oil and gas wells. Workshop: textbook. allowance / Compiled by I.V. Muradkhanov, R.G. Chernyavsky. – Stavropol: NCFU, 2018. – 106 p.
3. Deryabin I.V. Fundamentals of technical diagnostics of oil and gas transport and storage facilities: study guide. – Tolyatti : TSU, 2021. – 152 p.
4. Shchipanov A.V. Safety of technological processes in the transport of oil and gas: a teaching aid. – Tolyatti : TSU, 2018. – 256 p.
5. Shchipanov A.V. Safety of technological processes in the transport of oil and gas: a teaching aid. – Tolyatti : TSU, 2018. – 256 p.

МЕТОД ПОДБОРА МОДЕЛЕЙ ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОВОДОВ

METHOD OF SELECTION OF OIL PIPELINE CLEANING MODELS

Шарбатов Вадим Арменович

студент кафедры «Оборудования нефтяных
и газовых промыслов»

Института нефти, газа и энергетики,

Кубанский государственный технологический университет

vadiksharbatov@yandex.ru

Аннотация. В данной работе представлен обзор методов используемых для очистки отложений во время эксплуатации трубопроводов. В представлении современной нефтегазовой отрасли важную роль всегда имела сфера по транспортировке жидкостей. Поэтому поставлены главный вопрос по методам очистки отложений: Какие возможности и ограничения имеют современные методы очистки отложений?

Ключевые слова: нефтепровод, АСПО, НКТ, эталон, степень очистки, скребки, ППУ, поршень, фазы, ПАВ, прочность, деформация, упругость.

Sharbatov Vadim Armenovich

Student of the Department

«Equipment for Oil and Gas Fields»

Institute of Oil, Gas and Energy,

Kuban State Technological University

vadiksharbatov@yandex.ru

Annotation. This paper presents an overview of the methods used to clean deposits during pipeline operation. The sphere of liquid transportation has always played an important role in the representation of the modern oil and gas industry. Therefore, the main question on the methods of sediment purification has been raised: What opportunities and limitations do modern methods of sediment purification have?

Keywords: oil pipeline, SPO, tubing, standard, degree of purification, scrapers, PU, piston, phases, surfactants, strength, deformation, elasticity.

Какие возможности и ограничения имеют современные методы очистки отложений?

Таким образом, можно прийти к выводу, что различного рода устройства, применяемые для очистки отложений, являются по существу индивидуальными, которые в зависимости от условий могли бы применяться. Потому разработана таблица, в которой будет возможно определить крайние технические возможности самых распространённых устройств используемых для очистки отложений. Для лучшей наглядности будут взяты распространённые устройства, используемые в мире и, в частности, России. Все данные отражены в таблице 1.

Таблица 1

	СКР4	Резиновый шар	Гелевый поршень	ППУ	ПЭМП
ОВ	АСПФ, окалина, строит. мусор	Парафины	АСПФ эмульсии, пластовая вода, окалина	Парафины	Парафины
ДУ	Камеры для запуска и приёма	Камеры для запуска и приёма	Нет	Средство передвижения	Аппараты для создания центров кристаллов
РП	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет
*	Остановки, разрушения и засорения	Слабая очистка, износ	Удаление различного рода рыхлых отложений	Наличие транспортного средства	Не удаляются мех. примеси

Каждый столбец заполнялся самостоятельно. Данные связаны в первую очередь со сложностью проведения операций по очистке трубопроводов. То есть здесь рассматриваются, естественно, очищаемые вещества для лучшего понимания универ-

сальности устройства и возможности. Далее рассмотрены дополнительные устройства, без которых невозможна или осложнена очистка трубопровода. Это могут быть генераторы, транспортные средства, даже дополнительные сооружения. Разделение потока – возможность при данном типе механизма разделять поток на обособленные фазы жидкости или газа. Для более отчетливой картины, в примечании указаны особенности применения устройств. Это в первую очередь эффективность проделанных операций, возможность аварийных ситуаций, особенности удаления отложений и недостатки, если таковые имеются [1].

Примечание: ПЭМП – переменные электромагнитные поля, ОВ – очищаемые вещества, ДУ – дополнительные устройства, РП – разделение потока

В качестве устройств приняты по механическому методу скребки типа СКР4, а также резиновые шары (надувные) для удаления парафина, по химическому методу гелевые разделительные поршни, по тепловому пароподвижные установки (ППУ), по физическим устройства по депарафинизации переменными электромагнитными полями. Также дополнительные устройства и методы, которые не вошли в таблицу: химические: ввод растворимых веществ – сульфат кальция, алюминия, синтетические жирные кислоты, высокомолекулярные смолистые вещества и т.д. Их отсутствие обосновано тем, что добавление их предупреждает образование отложений, то есть сами по себе они малоэффективны для очистки трубопровода, потому выбор был сделан в сторону композитного химического материала – гелевого поршня [2]. Также можно включить метод борьбы с использованием ПАВ, но выбор сделан в сторону гелевого поршня, так как он, в сущности, может иметь в составе ПАВ.

Не включён в ряд способ течения горячих жидкостей, так как метод подразумевает чистку всей части трубопровода, а не отдельных частей. Кроме того, применение ограничено тем, что горячая жидкость, перемещаемая по трубопроводу, охлаждается, из чего следует малая эффективность на длинных участках трубопровода. А в сущности, пароподвижная установка имеет возможность действовать на центры скопления отложений, которые вызваны определёнными условиями. Из физических методов не выделены методы: ультразвуковые, магнитные и электрические в

отдельности. Ультразвуковые, магнитные и электрические не являются более перспективными, так как в сравнении с электромагнитными полями их изученность мала, от того возникают проблемы решения задач по очистке полости трубы [3].

Данные внесены по опыту использования устройств за всё время эксплуатации. В результате имеем, что СКР4 - наиболее эффективный способ при стандартных условиях трубопровода, не смотря на возможности остановок. Хотя в свою очередь небезопасные условия будут для скребка не соблюдаться, если происходит неправильное использование скребка или на трубопроводе не полный мощности поток [4]. Далее выделяется гелевый поршень, ведь в сравнении с другими методами он является наиболее безопасным и малотрудоёмким. Переменные магнитные поля хоть мало изучены, но имеют возможность быть перспективными в будущем.

Далее будут рассмотрены возможности применения методов на определённых участках трубопровода в таблице 2. Это выполнено для точного определения наиболее эффективного метода борьбы с отложениями при несоблюдении идеальных условий: наличие местных кранов, обратных клапанов, тонкостенных трубопроводов, поворотов на 90 градусов, резких сужений в трубопроводе.

Таблица 2

	СКР4	Резиновый шар	Гелевый поршень	ППУ	ПЭМП
$\alpha_{\text{повор.}}$	$1,5 D_h$	Нет	Нет	Да	Нет
D_h	$85 \% D_h$	Да	Да	Да	Да
МС	Нет	Нет	Да	Да	Да
ППС	Нет	Да	Да	Да	Нет

Примечание: $\alpha_{\text{повор.}}$ – угол поворота трубопровода в 90° , D_h – внешний диаметр трубопровода, МС – местные сопротивления, ППС – пониженная прочность стенок.

Следуя из таблицы, наиболее универсальными являются – гелевые разделительные поршни и особенно пароподвижные установки. Скребки – устройства, состоящие из металла, который в свою очередь не проявляет высокие деформационные свойства. А истирание стенок трубы об щетки скребка приводит к утонче-

нию стенок. Резиновый шар упругий и способен деформироваться, однако из того, что он выносит вперёд парафинные отложения, он может застревать на поворотах. Гелевый поршень на основе полиакриламида наиболее упругий и вязкий, что позволяет устройству проходить разные препятствия. Однако вследствие того, что поршень имеет длину в несколько раз больше диаметра, гелевый поршень не сможет пройти через резкие повороты. Пароподвижные установки не ограничены в передвижении, они находятся на транспортном средстве, поэтому они могут воздействовать на любых участках, кроме поворотов. Переменные электромагнитные поля мало изучены и оценка их возможностей в действительности не полная. В современном мире трудно организовать центры кристаллизации на поворотах трубы, а из-за особенностей действия они могут вызвать аварийные ситуации, которые могут прорвать тонкие стенки трубы.

Список литературы

1. URL : https://studwood.net/1699429/tehnika/fizicheskie_metody_udaleniya
2. URL : <https://vunivere.ru/work55609>
3. URL : <https://www.ngpedia.ru/id480758p1.html>
4. URL : Физические основы специальных методов транспорта нефти и газа : методические указания / Сост. Д.Н. Галдин. – Воронеж : ВГТУ, 2022. – 36 с.

List of references

1. URL : https://studwood.net/1699429/tehnika/fizicheskie_metody_udaleniya
2. URL : <https://vunivere.ru/work55609>
3. URL : <https://www.ngpedia.ru/id480758p1.html>
4. URL : Physical foundations of special methods of oil and gas transportation: methodological guidelines / Compiled by D.N. Galdin. – Voronezh : VSTU, 2022. – 36 p.

**АНАЛИЗ РИСКА ДЛЯ КУСТОВЫХ ПЛОЩАДОК
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**RISK ANALYSIS FOR CLUSTER SITES DURING
THE OPERATION OF AN OIL
AND GAS CONDENSATE FIELD**

Юн Олег Яковлевич

кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела
имени проф. Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный технологический университет
yunoleg@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ факторов, представляющих в совокупности источники опасности возникновения аварийных ситуаций на газовых скважинах при их высокой концентрации на ограниченной территории кустовой площадки. С точки зрения предотвращения возникновения выбросов и открытых фонтанов проведена количественная оценка, позволяющая установить соответствие применяемых технических средств и технологических приемов фактическим условиями эксплуатации объектов.

Ключевые слова: куст скважин, фонтанная арматура, дебит, факторы риска, фонтаноопасность, комплексная оценка.

Yun Oleg Yakovlevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Oil and Gas
named after prof. G.T. Vartumyan,
Kuban State Technological University
yunoleg@mail.ru

Annotation. The analysis of the factors representing in aggregate the sources of danger of occurrence of emergency situations at gas wells at their high concentration in the limited territory of the bush area is carried out. From the point of view of preventing the occurrence of

emissions and open fountains, a quantitative assessment has been carried out, which makes it possible to establish the compliance of the applied technical means and technological techniques with the actual operating conditions of the facilities.

Keywords: Bush wells, fountain fittings, flow rate, risk factors, fountain hazard, comprehensive assessment.

Анализ возможных аварий и инцидентов при эксплуатации газовых скважин на кусте

В процессе эксплуатации на кусте газовых скважин возможны следующие виды аварий:

1. Порыв газосборного коллектора в системе сбора пластового газа.
2. Разрушение трубопроводов обвязки между газосборным коллектором и фонтанной арматурой скважины.
3. Фонтанирование скважины или разрушение фонтанной арматуры.
4. Другие аварии, включая пожар, загазованность, пропуски по заколонному пространству и др.

В соответствии с требованиями к проектированию обустройства нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений необходимо учитывать источники аварий, факторы риска и условия возникновения аварий при разработке мероприятий по их предупреждению.

Целью проведения настоящего исследования является выявление основных определяющих факторов возможных аварий, определение системных последствий их комплексного воздействия в зависимости от расстояния между устьями скважин для последующего принятия решений о мерах по обеспечению противofонтанной безопасности при ведении работ на объекте.

С учетом указанных требований в таблицах 1.1–1.5 рассмотрены основные природные, геологические, технические и технологические факторы риска и их показатели, влияющие на возникновение аварий на кусте газовых скважин. В качестве критериев оценки приняты определенные предельные значения для показателей факторов. Ситуации, связанные с порывом газосборного коллектора в системе сбора газа, а также некоторые другие, как не влияющие на изменение расстояния между устьями скважин, не рассматриваются.

Таблица 1.1 – Вид аварии: Разрушение трубопровода между газосборным коллектором и фонтанной арматурой

Факторы риска	Возможность управления	Степень влияния	Критерии оценки
<i>Природные факторы</i> Чрезвычайно низкая температура воздуха	Нет	Сильное	Температура 0 °С принята за нормальные условия для газов
Чрезвычайно высокая температура воздуха	Нет	Сильное	То же
<i>Геологические факторы</i> Физико-химические свойства пластовых флюидов: Плотность	Нет	Сильное	Плотность воды 1 г/см ³
Коррозионная активность	Нет	Наиболее сильное	Содержание CO ₂ до 6 %
Содержание абразивных частиц	Нет	Наиболее сильное	Содержание песка
Токсичность	Нет	Сильное	Содержание H ₂ S и др. до 0,5 %
<i>Технические факторы</i> Надежность технологических линий	Да	Наиболее сильное	Резервирование аварийных запорных устройств
Расстояние до устья скважины	Да	Наиболее сильное	Опасная зона – 50 м
<i>Технологические факторы</i> Буферное давление	Да	Наиболее сильное	Допустимое давление на устье скважины
Дебит скважины	Да	Наиболее сильное	Допустимый дебит скважины

Таблица 1.2 – Вид аварии: Фонтанирование скважины или разрушение фонтанной арматуры

Факторы риска	Возможность управления	Степень влияния	Критерии оценки
1	2	3	4
<i>Природные факторы</i> Чрезвычайно низкая температура воздуха	Нет	Сильное	Температура 0 °С – принятая за нормальные условия для газов
Чрезвычайно высокая температура воздуха	Нет	Сильное	То же
<i>Геологические факторы</i> Максимальный дебит	Нет	Наиболее сильное	Низкодебитные скважины
Глубина залегания пласта	Нет	Сильное	менее 100 тыс. м ³ /сут
Пластовое давление	Нет	Наиболее сильное	Интервал глубин до 500 м
Пластовая температура	Нет	Наиболее сильное	Условное гидростатическое давление
Литологический состав пород Коллекторские свойства пород: Тип коллектора	Нет	Сильное	«Холодные» скважины 15–40 °С
Пористость	Нет	Наиболее сильное	Изолированные породы Поровый
Проницаемость	Нет	Наиболее сильное	Слабопористые породы 1–5 %
Физико-химические свойства пластовых флюидов	Нет	Наиболее сильное	Непроницаемые породы до 0,1 мД
Плотность	Нет	Наиболее сильное	Плотность воды 1 г/см ³

Окончание таблицы 1.2

1	2	3	4
Коррозионная активность	Нет	Наиболее сильное	Содержание CO ₂ до 6 %
Содержание абразивных частиц	Нет	Наиболее сильное	Содержание песка
Токсичность	Нет	Наиболее сильное	Содержание H ₂ S и др. до 0,5 %
<i>Технические факторы</i>			
Тип фонтанной арматуры	Да	Наиболее сильное	В моноблочном исполнении
Рабочее давление устьевого оборудования	Да	Наиболее сильное	Максимально ожидаемое давление на устье
Надежность технологических линий	Да	Наиболее сильное	Резервирование аварийных блокирующих устройств
Расстояние между скважинами	Да	Наиболее сильное	Высота вышки + 10 м
Ограничения по размещению специальной техники:			
– по интенсивности тепловых потоков	Нет	Наиболее сильное	12,6 кВт/м ²
– по температуре почвы	Нет	Наиболее сильное	100 °С
<i>Технологические факторы</i>			
Буферное давление	Да	Наиболее сильное	Максимально ожидаемое давление на устье
Дебит скважины	Да	Наиболее сильное	Вынос абразивных частиц, песка

Таблица 1.3 – Вид аварии: Пожар

Факторы риска	Возможность управления	Степень влияния	Критерии оценки
<i>Геологические факторы</i> Физико-химические свойства пластовых флюидов: Состав флюида	Нет	Наиболее сильное	Пластовая вода плотностью 1 г/см ³ Нижний концентрационный предел воспламенения флюида Содержание H ₂ S до 0,5 %
Пожаровзрывоопасность	Нет	Наиболее сильное	
Токсичность	Нет	Наиболее сильное	
<i>Технические факторы</i> Тип герметизирующих устройств	Да	Наиболее сильное	Самоуплотняющиеся соединения «метал по металлу» Резервирование аварийных блокирующих устройств Максимально опасная зона – 6 м от устья горящего фонтана Возможность охлаждения в зоне 10–15 м от фронта пламени
Надежность технологических линий	Да	Наиболее сильное	
Расстояние между устьями скважин	Да	Наиболее сильное	
Размещение пожарной техники	Да	Наиболее сильное	
<i>Технологические факторы</i> Ингибирование технологических линий	Да	Наиболее сильное	Применение ЛВЖ

Таблица 1.4 – Вид аварии: Загазованность

Факторы риска	Возможность управления	Степень влияния	Критерии оценки
1	2	3	4
<i>Природные факторы</i> Скорость ветра	Нет	Наиболее сильное	Скорость ветра до 1 м/с на высоте до 1,5 м

Окончание таблицы 1.4

1	2	3	4
<i>Геологические факторы</i> Физико-химические свойства пластовых флюидов: Плотность флюида Пожаровзрывоопасность Токсичность	Нет Нет Нет	Наиболее сильное Наиболее сильное Наиболее сильное	Плотность воды 1 г/см ³ Нижний концентрационный предел воспламенения флюида Содержание H ₂ S и др. до 0,5 % об.
<i>Технические факторы</i> Состояние устьевого оборудования: Тип герметизирующих устройств фонтанной арматуры и шлейфов Надежность технологических линий Расстояние между скважинами	Да Да Да	Наиболее сильное Наиболее сильное Наиболее сильное	Самоуплотняющиеся соединения «метал по металлу» Резервирование аварийных блокирующих устройств Опасная зона – 30 м

Таблица 1.5 – Вид аварии: Пропуски по межколонному пространству

Факторы риска	Возможность управления	Степень влияния	Критерии оценки
1	2	3	4
<i>Технические факторы</i> Угол отклонения ствола скважины от вертикали Состояние конструкции скважины: Тип обсадной колонны Тип резьбовых соединений обсадных труб	Нет Нет Нет	Сильное Наиболее сильное Наиболее сильное	Вертикальная скважина – угол отклонения до 50 Односекционная колонна, цементируемая в один прием Трапецеидальная резьба аналог «Батресс»

Окончание таблицы 1.5

1	2	3	4
Тип герметизирующих устройств	Нет	Наиболее сильное	Самоуплотняющиеся соединения «метал по металлу»
Тип цементного раствора	Нет	Сильное	Быстротвердеющие расширяющиеся растворы
Тип буферной жидкости	Нет	Сильное	Пресная вода
Метод испытания оценки прочности обсадной колонны	Да	Наиболее сильное	Гидравлическое испытание опрессовкой

Для оценки комплексного влияния факторов риска на потенциальную опасность возникновения аварий использованы «Методические указания по проведению комплексной оценки фонтаноопасности при строительстве и капитальном ремонте скважин Астраханского газоконденсатного месторождения». Указанный документ позволяет получить количественную оценку состояния объекта по обобщенному критерию, который характеризует потенциальную опасность возникновения открытого фонтанирования в зависимости от геологических, технических и технологических факторов.

Принятая структурная схема комплексной количественной оценки фонтаноопасности на кусте скважин приводится на рисунке 1.1. Расчеты единичных показателей объединяемых факторов проводятся в соответствии с вышеназванными методическими указаниями.

Основным принципом количественной оценки является отражение исходных показателей факторов в безразмерной шкале, которая является однотипной для всех объединяемых факторов и включает пять фиксированных уровней. Принятая безразмерная шкала фонтаноопасности приводится в таблице 1.6. При этом для каждого из учитываемых факторов, если он выражен в виде количественной физической величины, влияющих на решение проблемы, выбирают односторонние ограничения на исходный показатель так, чтобы его величина не превышала максимум ($Y \leq Y_{\max}$) или минимум ($Y > Y_{\min}$).

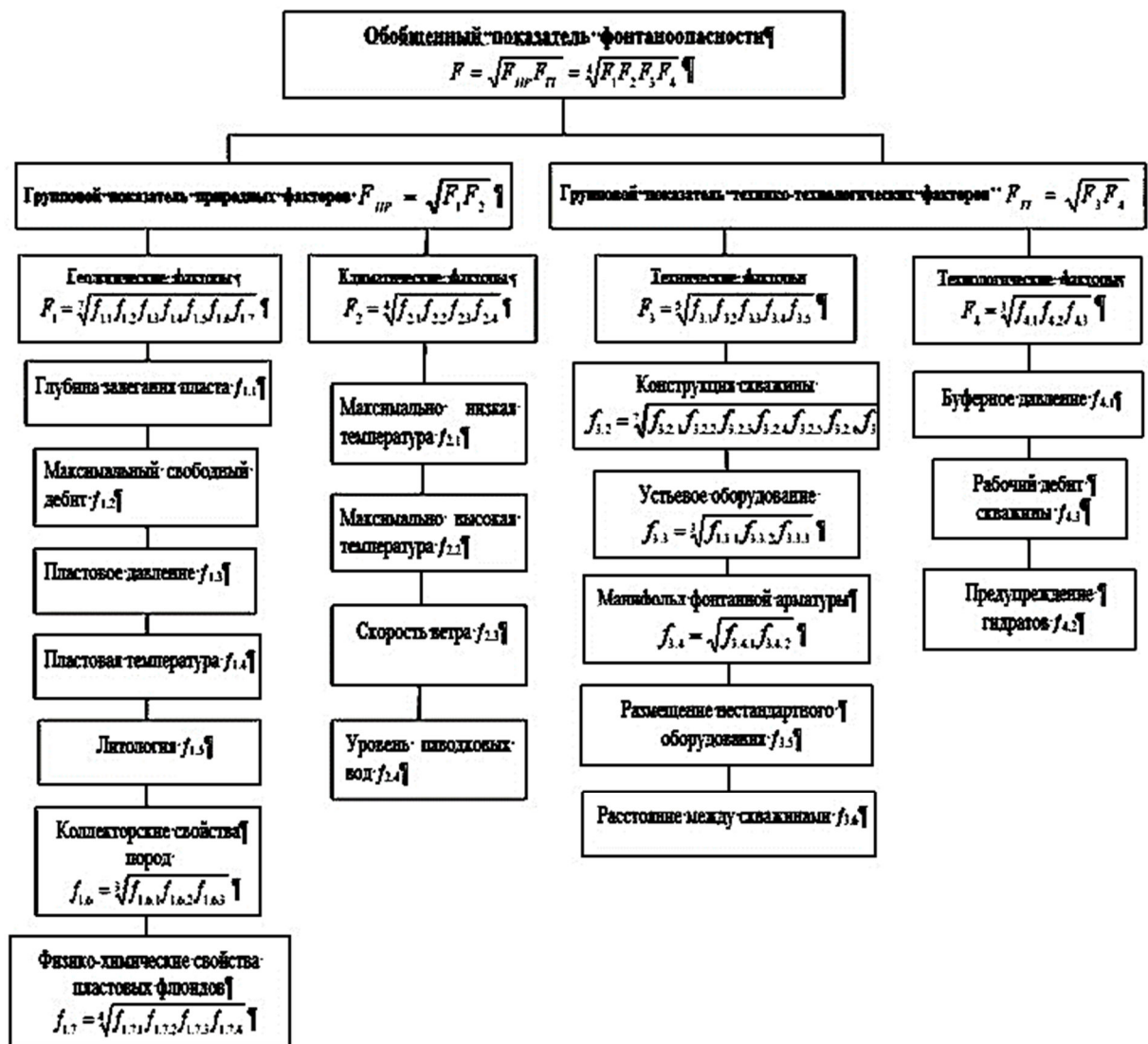


Рисунок 1.1 – Структурная схема комплексной оценки фонтаноопасности

Таблица 1.6 – Шкала фонтаноопасности

Уровень фонтаноопасности показателя	Количественная отметка на шкале
Очень высокий	0,80–1,0
Высокий	0,63–0,80
Повышенный	0,37–0,63
Средний	0,20–0,37
Низкий	0,0–0,20

В этом случае частные показатель фонтаноопасности рассчитывают по формуле:

$$f = \exp[-\exp(-U')], \quad (1.1)$$

где U' – безразмерное значение данного параметра, определяемое по двум или трем значениям U и соответствующим отметкам на шкале в виде полинома:

$$Y' = a_0 + a_1Y \text{ или } Y' = a_0 + a_1Y + a_2Y^2.$$

В качестве практического примера комплексной количественной оценки фонтаноопасности приведены данные по Бованенковскому НГКМ. Геолого-промысловые параметры залежей, принятые в расчетах, приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7

№ п/п	Исходные геолого-промысловые параметры	I объект (сеноман)	II объект (ТП1-6)	III объект (ТП7-11)	IV объект (ХМ1-2)	V объект (ПК9-10)
1	2	3	4	5	6	7
1	Глубина кровли продуктивного пласта, м	532–702	1184–1483	1425–1785	1069–1385	924–1044
2	Пластовое давление, МПа	6,9	14,5	15,4	13,5	10,1
3	Пластовая температура, °С	16	41	49	36	28
4	Средний дебит, тыс. м ³ /сут	607	750	460	518	498
5	Литологический состав	неравномерно переслаивающиеся пачки песчаников, алевролитов, аргиллитов, глин	неравномерно переслаивающиеся пачки песчаников, алевролитов, аргиллитов, глин	неравномерно переслаивающиеся пачки песчаников, алевролитов, аргиллитов, глин	неравномерно переслаивающиеся пачки песчаников, алевролитов, аргиллитов, глин	неравномерно переслаивающиеся пачки песчаников, алевролитов, аргиллитов, глин
6	Максимальная открытая пористость пород, %	41	33	24	24	24
7	Тип породы-коллектора	Порового типа	Порового типа	Порового типа	Порового типа	Порового типа

Окончание таблицы 1.7

1	2	3	4	5	6	7
8	Максимальная проницаемость пород, мД	969	329	72	147	450
9	Плотность пластового флюида по воздуху	0,559	0,587	0,588	0,573	0,579
10	Токсичность	нет	нет	нет	нет	нет
11	Коррозионная активность	0,18 % CO ₂	0,18 % CO ₂	0,18 % CO ₂	0,18 % CO ₂	0,18 % CO ₂
12	Пожаровзрывоопасность	Метан НПВ 5 % об	Метан НПВ 5 % об	Метан НПВ 5 % об	Метан НПВ 5 % об	Метан НПВ 5 % об
13	Содержание абразивных частиц	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных

Перечень исходных данных для количественной оценки климатических, геологических, технических и технологических факторов приводится в таблице 1.8. При отсутствии исходных данных для оценки единичных показателей факторов в расчетах принимаем количественный показатель 0,63, соответствующий повышенному уровню опасности.

Таблица 1.8 – Исходные данные

Климатические условия района		
1	2	3
1	Максимально низкая температура воздуха, °С	минус 43
2	Максимально высокая температура воздуха, °С	плюс 7,3
3	Скорость ветра, м/сек	6,9 м/с
4	Уровень паводковых вод, м	свыше 1,0 м
Технико-технологические данные		
5	Угол отклонения ствола скважины от вертикали, град	Нет данных
6	Компоновка эксплуатационной колонны по типоразмеру труб	Нет данных

Окончание таблицы 1.8

1	2	3
7	Тип резьбовых соединений обсадных труб	Нет данных
8	Технологическая оснастка эксплуатационной колонны	Нет данных
9	Глубина опасного сечения в обсадной колонне (стык секций, муфта МСЦ и т.д.), м	Нет данных
10	Тип цементного раствора и добавки, повышающие изолирующую способность	Нет данных
11	Тип буферной жидкости	Нет данных
12	Метод оценки остаточной прочности обсадной колонны	Нет данных
13	Давление на устье при опрессовке обсадной колонны, МПа	Нет данных
14	Плотность опрессовочной жидкости, г/см ³	Нет данных
15	Максимальное ожидаемое давление на устье скважины, МПа	7,7
16	Рабочее давление устьевого оборудования, МПа	21,0
17	Схема обвязки устья скважины и спецификация устьевого оборудования	Фонтанная арматура крестового типа АФ6Д-100х21 К1 Типовая схема № 6 по ГОСТ 13846-84 с дистанционным управлением в коррозионно-стойком исполнении для среды – до 6 % CO ₂
18	Резервирование предохранительных устройств	Перекрытие потока газа из скважины по схеме: автоматический приустьевой клапан-отсекатель – гидроприводные стволовая и струнная задвижки – пружинный клапан-отсекатель на выкидной линии
19	Буферное давление, МПа	Нет данных
20	Рабочий дебит скважины, тыс. м ³ /сут	Нет данных

Проектом разработки предусмотрена одновременная эксплуатация пяти продуктивных пластов, причем на каждый пласт предусмотрено бурение отдельных скважин. В этой связи для каждого из объектов, подлежащих эксплуатации, проведена количественная оценка фонтаноопасности по геологическим факторам согласно принятой методике.

Результаты расчетов, которые приводятся в таблице 1.9, показывают, что наибольшую потенциальную опасность как возможный источник фонтанирования скважины представляет объект ТП₁₋₆ с количественным показателем 0,483.

Таким образом, последующие расчеты выполняются на типовую скважину, вскрывающую пласт ТП₁₋₆.

Результаты количественных оценок по указанным группам факторов, а также комплексной оценки фонтаноопасности приводятся соответственно в таблицах 1.10–1.13. Полученное численное значение обобщенного показателя 0,461 соответствует повышенному уровню фонтаноопасности по принятой шкале.

Анализ ограничений к выбору конструкции основания кустовой площадки

В случае возникновения открытого фонтана на кусте, когда противовыбросовое оборудование, фонтанная арматура, задвижки и другие запорные устройства оказались поврежденными и непригодными для герметизации устья скважины, применяется один из основных способов ликвидации аварии – снятие имеющегося и установка нового запорного устройства на устье фонтанирующей скважины.

Большинство работ по ликвидации открытого фонтана связано с применением грузоподъемных механизмов. При наличии буровой вышки используется талевая система буровой установки, привод которой зависит от обстановки на скважине. Использование силового привода буровой установки запрещается при фонтанировании скважины через устье, а также при наличии пропусков газа в обвязке устья и распространении зоны загазованности на территории буровой. В этом случае производится переоснастка неподвижного конца талевого каната на ходовой и соединение его с трактором-подъемником через оттяжной ролик требуемой грузоподъемности или отсоединения ходовой ветви от лебедки.

Таблица 1.9 – Количественная оценка по геологическим факторам

№ п/п	Заглуб	Количественные показатели геологических факторов										Оценка по шкале				
		Глубина залегания		Максимальный дебит		Пластовое давление		Температура		Литология			Коллекторские свойства пород			Физико-химические свойства пластовых флюидов
		F _{1.1}	F _{1.2}	F _{1.3}	F _{1.4}	F _{1.5}	F _{1.6.1}	F _{1.6.2}	F _{1.6.3}	Плотность	F _{1.7.1}	F _{1.7.2}	F _{1.7.3}	F ₁		
I объект	сеноман	0,205	0,412	0,932	0,20	0,37	0,894	0,37	0,994	0,716	0,2	0,2	0,2	0,384	Повышенный уровень опасности	
II объект	ТП1-6	0,507	0,452	0,891	0,413	0,37	0,850	0,37	0,904	0,692	0,2	0,2	0,2	0,483	Повышенный уровень опасности	
III объект	ТП7-11	0,609	0,349	0,735	0,531	0,37	0,752	0,37	0,420	0,690	0,2	0,2	0,2	0,462	Повышенный уровень опасности	
IV объект	ХМ1-2	0,455	0,374	0,915	0,369	0,37	0,752	0,37	0,644	0,704	0,2	0,2	0,2	0,448	Повышенный уровень опасности	
V объект	ПК9-10	0,387	0,366	0,754	0,299	0,37	0,752	0,37	0,957	0,699	0,2	0,2	0,2	0,420	Повышенный уровень опасности	

Таблица 1.10 – Количественная оценка по климатическим факторам

Количественные показатели климатических факторов		Уровень паводковых вод		Групповой показатель факторов	Оценка по шкале
Максимально низкая температура воздуха	Максимально высокая температура воздуха	Скорость ветра	Уровень паводковых вод		
F _{2.1}	F _{2.2}	F _{2.3}	F _{2.4}	F ₂	Повышенный уровень опасности
0,744	0,367	0,2	0,476	0,402	

Таблица 1.11 – Количественная оценка по техническим факторам

Количественные показатели технических факторов								Оценка по шкале					
Конструкция скважины				Устьевое оборудование		Манifold фонтанной арматуры							
Угол наклона	Тип колонны	Тип резьбы	Тип уплотнений	Тип цемента	Тип буровой жидкости	Метод испытания колонны	Тип фонтанной арматуры	Рабочее давление	Резервирование	Тип уплотнений	Резервирование	Групповой показатель	Повышенный уровень опасности
f _{3.1.1}	f _{3.1.2}	f _{3.1.3}	f _{3.1.4}	f _{3.1.5}	f _{3.1.6}	f _{3.1.7}	f _{3.2.1}	f _{3.2.3}	f _{3.3.4}	f _{3.3.1}	f _{3.3.2}	F ₃	
f _{3.1}												F ₃	
f _{3.2}													
f _{3.3}												0,544	
f _{3.4}													
0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,2	0,37	0,37	0,63	0,8	0,544

Таблица 1.12 – Количественная оценка по технологическим факторам

Количественные показатели климатических факторов			Групповой показатель факторов	Оценка по шкале
Буферное давление	Рабочий дебит скважины	Предупреждение образования гидратов		
$f_{4.1}$	$f_{4.2}$	$f_{4.3}$	F_4	
0,63	0,63	0,8	0,430	Повышенный уровень опасности

Таблица 1.13 – Комплексная количественная оценка фонтаноопасности при эксплуатации скважин на кусте

Количественные показатели					Оценка по шкале
Групповой показатель геологических факторов	Групповой показатель климатических факторов	Групповой показатель технических факторов	Групповой показатель технологических факторов	Обобщенный показатель фонтаноопасности	
F_1	F_2	F_3	F_4	F	
0,483	0,402	0,544	0,430	0,461	Повышенный уровень фонтаноопасности

При отсутствии буровой вышки работы осуществляются с помощью грузоподъемных механизмов (кран КП-25, трактор-подъемник, монтажная стрела-траверса) с использованием блоков (роликов) соответствующей грузоподъемности.

Практика показывает, что при ликвидации открытых фонтанов в основном используются грузоподъемные, тяговые механизмы и специальная техника, которые применяются практически на всех стадиях строительства и эксплуатации газопромысловых объектов: тракторы-тягачи, бульдозеры, кран КП-25 и другие краны на базе тракторов с гусеничным ходом, лебедки механические монтажные.

Поэтому основные технические решения, включая выбор варианта конструкции основания кустовой площадки, не должны создавать дополнительных ограничений для доставки и размещения указанных типовых технических средств на проектируемом объекте.

При сравнительном анализе эффективности вариантов устройства кустовых оснований при прочих равных условиях необходимо учитывать степень опасности, включая возможности применения указанной техники и оборудования.

В этой связи возможные варианты основания, допускающие затопление площадки куста на период паводка, являются неприемлемыми, поскольку полностью исключают доступ на объект специальной техники в случае возникновения аварии.

С точки зрения противофонтанной безопасности выбор конструкции кустовых площадок должен учитывать следующие требования:

- высота основания не менее 2,0–2,5 м (как для традиционно используемых для обустройства насыпей на вечномёрзлых грунтах);

- доставка и размещение спецтехники на кусте в неблагоприятных климатических условиях и в половодье;

- защита тела и поверхности площадки куста от эрозии при воздействии осадков и паводковых вод, а также при фонтанировании скважины и создании водяной завесы при ликвидации фонтана;

- защита многолетнемерзлых пород от растепления при температурных воздействиях, включая свободный выход флюида на поверхность и горящий фонтан;

- размещение специальной техники с учетом выхода тяговых, буксирных, страховочных и вспомогательных тросов за пределы зоны загазованности и обеспечения запаса длины хода тяговых механизмов на 20 % больше расчетного.

С учетом вышеизложенного сравнительные оценки конструкции кустовых оснований могут быть представлены таким образом, что отсыпной вариант куста в наибольшей степени соответствует выполнению первых двух требований, в том числе при необходимости строительства дополнительной насыпи (площадки) для грузоподъемного механизма. Выполнению следующих двух требований наиболее удовлетворяет вариант кустовой площадки на платформе.

Анализ возможных ограничений по маневрированию специальной техники при проведении работ по ликвидации фонтанов с учетом расстояния между скважинами

При оценке возможных ограничений по маневрированию специальной техники при ликвидации открытых фонтанов следует руководствоваться следующими терминами.

Опасная зона – территория, прилегающая к устью фонтанирующей скважины, работы в которой выполняются в экстремальных условиях, представляющих угрозу для жизни и здоровья работающих из-за опасности отравления, взрыва, воспламенения фонтана, получения травм и профессиональных заболеваний.

Аварийная зона – пространство, окружающее опасную зону, в котором возможно распространение продуктов открытого фонтанирования скважины.

Ниже приводятся обобщенные данные, которые следует рассматривать как ограничения по маневрированию специальной техники при проведении наиболее аварийно-устьевых работ на фонтанирующих скважинах.

К наиболее распространенным видам аварийно-устьевых работ при ликвидации аварийных газонефтепроявлений и открытых фонтанов относят:

1. Расчистка опасной зоны вокруг устья фонтанирующей скважины от поврежденных металлоконструкций, оборудования и механизмов.
2. Снятие непригодного устьевого оборудования с аварийного устья.
3. Резка труб на аварийном устье.
4. Создание базы на аварийном устье.
5. Наведение запорно-устьевого сборки (ЗУС) на аварийное устье.
6. Принудительный спуск (подъем) труб в скважину под давлением.
7. Отворот бурильной или ведущей трубы под давлением.
8. Соединение запорно-устьевого сборки с трубой на устье фонтанирующей скважины.
9. Сверление труб под давлением.
10. Ликвидация негерметичности на устье – устранение пропусков газа в оборудовании аварийного устья или его обвязке (гидроперезжим, тампонирование).
11. Замена боковых задвижек на устье скважины под давлением.
12. Замена непригодных плашек превентора в условиях фонтанирования.

Работы по ликвидации открытых фонтанов относятся к категории особо опасных работ, что накладывает жесткие ограни-

чения по размещению специальной техники. Эти ограничения не противоречат типовым требованиям при проведении работ с повышенной производственной опасностью на газопромысловых объектах, в том числе к наиболее безопасным расстояниям:

- при проведении аварийных работ – высота вышки плюс 10 м;
- при прострелочно-взрывных работах – 50 м от устья скважины;
- при газоопасных работах – 25–30 м от устья скважины;
- при гидравлических испытаниях – не менее 10 м от устья.

В этой связи основные технические решения, включая выбор расстояния между скважинами на кусте, не должны создавать дополнительных ограничений для маневрирования типовой спецтехники на объекте.

Состав и сложность аварийных работ к наведению запорного устройства зависят от состояния фонтанирующей струи флюида. При воспламенении струи, как правило, проводят тушение фонтана при помощи специальных технических средств.

Решение о наведении ЗУС на устье при горящем фонтане принимается, если имеющимися силами и средствами не удастся потушить пожар, а дальнейшее затягивание грозит серьезными осложнениями. В таких условиях необходимо применять специальные предохранительные меры: орошение и охлаждение водой оборудования и устройств, подвергающихся наибольшему тепловому воздействию, теплозащитные костюмы, устройства экранов, оснащение средствами тепловой защиты специальных технических средств и т.д.

В отношении открытого фонтанирования на кустах скважин Бованенковского НГКМ следует рассматривать экстремальный случай – невозможность создания водяной завесы в условиях низких температур воздуха. Следовательно, работы по глушению горящего газового фонтана будут производиться при отсутствии водяной защиты работающих людей и техники, что резко ухудшает условия труда в зоне устья скважины, снижает производительность и безопасность аварийно-устьевых работ.

Как показали результаты экспериментальных исследований, основной и наиболее опасный производственный фактор в этих условиях – повышенная интенсивность теплового излучения. Для определения безопасных расстояний от источника с учетом названного фактора используют справочные значения допустимых величин интенсивности теплового излучения.

При оценке безопасных расстояний для транспортных средств общетехнического назначения, следует принимать предельную величину интенсивности теплового излучения для автомобильного топлива (топливных баков), принимаемую для расчетов равной $12,6 \text{ кВт/м}^2$. При этом температура грунта не должна превышать допустимого для пневмоколес значения ($100 \text{ }^\circ\text{C}$). С учетом полученных значений определяют предельные безопасные расстояния от устья скважины для персонала и технических средств.

С учетом вышеизложенного и ранее принятых ограничений можем выделить четыре опасных зоны вокруг устья фонтанирующей скважины при проведении наиболее распространенных видов аварийно-устьевых работ:

- чрезвычайно высокий уровень опасности 5–15 м;
- очень высокий уровень опасности 15–25 м;
- высокий уровень опасности 25–50 м;
- повышенный уровень опасности 50–70 м.

Принятые численные значения позволяют установить функциональную связь для определения количественного показателя рассматриваемого фактора по уровню опасности:

$$y' = 5,14 - 0,30y + 0,004y^2 .$$

Таким образом, расстояние между скважинами с позиций заданных ограничений по оперативному пространству при ликвидации горящего фонтана следует рассматривать как:

- 20 м – количественный показатель 0,621, что соответствует оценке «высокий уровень опасности»;
- 15 м – количественный показатель 0,807; что соответствует оценке «очень высокий уровень опасности»;
- 10 м – количественный показатель 0,924, что соответствует оценке «чрезвычайно высокий уровень опасности».

Прогноз влияния выявленных ограничений на кустах скважин и рекомендации по компенсирующим мероприятиям

В настоящей работе проведен анализ факторов, представляющих в совокупности источники опасности возникновения аварийных ситуаций на газовых скважинах при их высокой концентрации на ограниченной территории кустовой площадки. При этом с точки зрения недопустимости возникновения открытого фонтанирования предложена количественная оценка, позволяющая установить соответствие применяемых технических средств

и технологических приемов фактическим условиями эксплуатации объектов. С этой целью принят обобщенный показатель, учитывающий комплексное влияние факторов и являющийся функцией состояния объекта.

Проектом разработки Бованенковского НГКМ предусмотрена одновременная эксплуатация пяти продуктивных пластов, причем на каждый пласт предусмотрено бурение отдельных скважин. В связи с этим для каждого из объектов, подлежащих эксплуатации, проведена количественная оценка с позиций фонтаноопасности таких геологических факторов, как глубина залегания пласта, максимальный свободный дебит, коэффициент аномальности пластового давления, температура, литология, коллекторские свойства пород пласта и физико-химические свойства пластовых флюидов. Для этого использована методика, разработанная для осложненных условий строительства скважин Астраханского ГКМ, позволяющая с точки зрения потенциальной опасности открытого фонтанирования дать дифференцированную комплексную оценку взаимосвязи определяющих факторов.

В основу названной методики положено преобразование исходных показателей в безразмерную шкалу фонтаноопасности, которая устанавливает степень их соответствия выбранным нормам. При этом если имеется несколько показателей, фонтаноопасность которых равна f_i , то совокупное влияние рассматриваемой группы показателей F определяется по формуле:

$$F = \sqrt[n]{f_1 f_2 \dots f_n} . \quad (1.2)$$

Результаты проведенных расчетов и сравнительная оценка показывают, что при прочих равных условиях наибольшую потенциальную опасность как возможный источник открытого фонтанирования скважины представляет объект ТП₁₋₆ с количественным показателем геологических факторов $F_1 = 0,483$. На этом основании последующие расчеты по принятой методике с целью комплексной количественной оценки фонтаноопасности при обустройстве кустовых площадок выполнены на типовую скважину, вскрывающую пласт ТП₁₋₆.

Аналогичным образом определены групповые показатели климатических ($F_2 = 0,402$), технических ($F_3 = 0,544$) и технологических ($F_4 = 0,430$) факторов, характеризующих взаимосвязь

внешних условий и управляющих воздействий при эксплуатации объекта. Оценка всего комплекса учитываемых факторов сводится к единому обобщенному показателю, который является функцией состояния объекта и рассчитывается по формуле:

$$F = \sqrt[4]{F_1 F_2 F_3 F_4} . \quad (1.3)$$

Рассчитанный таким образом обобщенный показатель составил $F = 0,461$, что по принятой шкале соответствует оценке «повышенный уровень фонтаноопасности», свидетельствующей о наличии на объекте скважин повышенной категории опасности по потенциальным возможностям к открытому фонтанированию и возможным последствиям открытого фонтана. Поэтому в качестве первоочередных мер на всех стадиях строительства, эксплуатации и ремонта скважин на кусте должны быть приняты компенсирующие мероприятия по обеспечению противофонтанной безопасности.

С учетом повышенной опасности проведен сравнительный анализ дополнительных ограничений по размещению специальной техники и оборудования на проектируемом объекте для различных вариантов конструкции кустовых оснований.

В этой связи выделены четыре опасных зоны вокруг устья фонтанирующей скважины при проведении наиболее распространенных видов аварийно-устьевых работ:

- чрезвычайно высокий уровень опасности 5–15 м;
- очень высокий уровень опасности 15–25 м;
- высокий уровень опасности 25–50 м;
- повышенный уровень опасности 50–70 м.

На основе вышеперечисленных значений определены количественные показатели фонтаноопасности для заданных расстояний между скважинами на кусте 20, 15 и 10 метров. Последовательность расчета следующая.

1. Выбираем одностороннее ограничение на применяемый показатель расстояния $Y \leq Y_{\max}$. В этом случае безразмерный параметр Y' представляем в виде полинома:

$$Y' = a_0 + a_1 Y + a_2 Y^2 ,$$

где Y – исходный показатель расстояния между скважинами, м.

2. Находим коэффициенты a_0 , a_1 , a_2 . Для этого каждому уровню опасности по принятым расстояниям 50, 25, 15 м выбира-

ем соответствующую количественную отметку на шкале 0,2, 0,37, 0,8 и составляем систему уравнений с тремя неизвестными

$$a_0 + 50a_1 + (50)^2 a_2 = -0,5$$

$$a_0 + 25a_1 + (25)^2 a_2 = 0$$

$$a_0 + 15a_1 + (15)^2 a_2 = 1,5 \quad .$$

Коэффициенты a_0 , a_1 , a_2 , найденные из этой системы, равны: $a_0 = 5,14$, $a_1 = -0,3$, $a_2 = 0,004$. Следовательно, безразмерный параметр Y' рассчитываем по формуле:

$$y' = 5,14 - 0,30y + 0,004y^2 .$$

3. По полученной формуле рассчитываем безразмерные Y' . Так, для расстояния между скважинами 20 м: $Y' = 2,54$. Остальные значения Y' составили: $Y' = 1,54$ – для расстояния 15 м; $Y' = 0,74$ – для расстояния 10 м от устья скважины.

4. По формуле (1.1) рассчитываем частный показатели фонтаноопасности f_i для заданных расстояний. Так, для расстояния 20м – количественный показатель составил 0,621; для расстояния 15 м – 0,807; для расстояния 10 м – 0,924.

Полученные таким образом количественные данные занесены в таблицу 1.15. При этом расстояние между скважинами рассматривается как определяющий фактор. Тогда, ранее рассчитанный по формуле (1.2) обобщенный показатель фонтаноопасности объекта F , численно равный 0,461, предлагается найти с учетом определяющего фактора f^* по формуле:

$$F^* = \sqrt{f^* F} \quad . \quad (1.4)$$

В таком случае, задаваясь соответствующим уровнем значимости фактора, два количественных показателя сведены к одному, который рассматривается как единый параметр, характеризующий состояние объекта.

Таким образом, принимая расстояние между скважинами на ограниченной и труднодоступной площадке куста как определяющий фактор в системе противоаварийной защиты, получаем следующие значения обобщенного показателя фонтаноопасности:

– 20 м – количественный показатель 0,535, что соответствует оценке «повышенный уровень опасности»;

– 15 м – количественный показатель 0,610; что соответствует оценке «повышенный уровень опасности»;

Таблица 1.15

Определяющий фактор – расстояние между скважинами	Количественный показатель фактора, f^*	Обобщенный показатель без учета определяющего фактора $F = \sqrt[4]{F_1 F_2 F_3 F_4}$	Обобщенный показатель с учетом определяющего фактора $F^* = \sqrt{f^* F}$	Оценка по шкале фонтаноопасности
20 м	0,621	0,461	0,535	Повышенный уровень
15 м	0,807		0,610	Повышенный уровень
10 м	0,924		0,653	Высокий уровень

– 10 м – количественный показатель 0,652, что соответствует оценке «высокий уровень опасности».

Следовательно, в качестве рекомендуемых мер по повышению противofонтанной и пожарной безопасности на объекте может являться увеличение расстояния между скважинами. Причем при выборе компенсирующих мероприятий могут быть использованы количественные показатели в качестве дифференцированных оценок степени опасности при эксплуатации скважин на кусте.

Рекомендации в области противofонтанной безопасности при обустройстве кустовых площадок на основе проведенного анализа могут быть представлены следующими компенсирующими мероприятиями.

1. При разработке ПСД на обустройство куста скважин необходимо учитывать:

1.1 Размещение на кустовой площадке гидравлических станций управления фонтанной арматурой и приустьевым клапаном-отсекателем, обеспечивающими дистанционное закрытие задвижек фонтанных арматур и устьевых клапанов.

1.2 Наличие на кусте скважин водонакопителя для пожаротушения и периодическое его заполнение из ближайших поверхностных водоисточников или обогреваемого блока водяных емкостей объемом, соединенного постоянно действующим водоводом с естественным водоисточником.

1.3 Увеличение ширины кустовой площадки на 10 метров для размещения необходимой спецтехники, емкостного парка, оборудования для свободного маневрирования специальной техники на кустовой площадке при выполнении работ по ликвидации возможной аварии;

1.4 Отсыпка кустов скважин должна осуществляться грунтом, обеспечивающим возможность проведения работ круглогодично. Высота отсыпки должна обеспечивать защиту грунта от растепления в случае возможного открытого фонтана с возгоранием.

Список литературы

1. Гиалаев Г.Г. Методы борьбы с основными видами осложнений при эксплуатации скважин // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 62–66.

2. Методические указания по проведению комплексной оценки фонтаноопасности при строительстве и капитальном ремонте скважин Астраханского ГКМ // ООО «Астраханьгазпром». АстраханьНИПИГаз. – Астрахань, 2006.

3. Пашинян Л.А. Применение компьютерных технологий при оценке фонтаноопасности в процессе бурения нефтяных и газовых скважин / Л.А. Пашинян, О.Я. Юн // «Вестник ассоциации буровых подрядчиков». – 2019. – № 1. – С. 26–29.

4. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 534.

5. Оборудование и инструмент для предупреждения и ликвидации фонтанов / В.Р. Радковский [и др.]. – М. : Недра, 1996.

List of references

1. Gilaev G.G. Methods of dealing with the main types of complications in the operation of wells // Oil economy. – 2020. – № 4. – P. 62–66.

2. Guidelines for a comprehensive assessment of blowout hazard during construction and overhaul of wells in the Astrakhan GCF // Astrakhangazprom LLC. AstrakhanNIPIGAs. – Astrakhan, 2006.

3. Pashinyan L.A. Application of computer technologies in the assessment of blowout hazard during drilling of oil and gas wells / L.A. Pashinyan, O.Ya. Yun // Bulletin of the Association of Drilling Contractors. – 2019. – № 1. – P. 26–29.

4. Safety rules in the oil and gas industry. Approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision № 534 dated December 15, 2020.

5. Equipment and tools for the prevention and liquidation of fountains / V.R. Radkovsky [et al.]. – M. : Nedra, 1996.

Научное издание

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ**

Материалы II Международной
научно-практической конференции
посвященной 105-летию КУБГУ

18 мая 2023 г.

Сборник статей

Технический редактор – И.И. Фоменко
Компьютерная верстка – М.Н. Гусева
Дизайн обложки – О.Я. Фоменко

Подписано в печать 22.07.2023
Бумага «Снегурочка»
Печ. л. 17,88
Усл. печ. л. 16,62
Уч.-изд. л. 14,96

Формат 60×84 ¹/₁₆
Печать трафаретная
Изд. № 1321
Тираж 500 экз.
Заказ № 2462

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://www.id-yug.com>