

*На правах рукописи*



**БАЛЕЕВ Артем Фаатович**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НАУЧНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ЖИВУЧЕСТИ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ ГАЗА  
В УСЛОВИЯХ ОБВОДНЕНИЯ**

Специальность 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами (технические науки)

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Оренбург – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Научный консультант — доктор технических наук, профессор  
**СОЛОВЬЕВ Николай Алексеевич**

Официальные оппоненты: **СТЕПИН Юрий Петрович**,  
академик РАЕН, доктор технических наук,  
профессор, профессор кафедры  
автоматизированных систем управления, ФГАОУ  
ВО «Российский государственный университет  
нефти и газа (национальный исследовательский  
университет) имени И.М. Губкина», г. Москва

**ИЛЮШИН Юрий Валерьевич**,  
доктор технических наук, доцент, декан  
экономического факультета, ФГБОУ ВО «Санкт-  
Петербургский горный университет императрицы  
Екатерины II», г. Санкт-Петербург

**БОГАТИКОВ Валерий Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор, профессор  
кафедры информационных систем ФГБОУ ВО  
«Тверской государственный технический  
университет», г. Тверь

Ведущая организация — **ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
технический университет», г. Тамбов**

Защита состоится «17» марта 2026 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.352.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд. 170215.

С диссертацией и авторефератом диссертации можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ([www.osu.ru](http://www.osu.ru)) ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет».

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
канд. техн. наук, доцент



Хасанов Ильгиз Халилович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В период падающей добычи разработка газоконденсатных месторождений осложняется обводнением газовых скважин, что приводит к выводу части скважин из эксплуатации. Такая проблема характерна для многих месторождений в России: Оренбургского, Вынгапуровского, Медвежьего, Уренгойского, Северо-Уренгойского, Ямбургского, Комсомольского. Так на Оренбургском нефтегазоконденсатном месторождении (ОНГКМ), которое разрабатывается с 1974 года, обводнены порядка 20% эксплуатационных газовых скважин. Установлено, что остаточных запасов газа достаточно для промышленной добычи из части обводненных скважин при использовании технологий извлечения пластовой жидкости, обеспечивающих рациональную разработку Основной газоконденсатной залежи ОНГКМ. Современные технологии извлечения пластовой жидкости имеют существенные отличия, применимы в конкретных условиях эксплуатации скважин и зависят от их конструкции, остаточных дренируемых запасов газа, объема пластовой жидкости, запаса пластовой энергии, наличия источника электроэнергии вблизи скважины и др. Отсюда, исследование применения различных технологий извлечения пластовой жидкости и периода их внедрения становится необходимым условием добычи продукции газоконденсатных месторождений на проектном уровне и рационального использования пластовой энергии при разработке залежи.

Проблемам извлечения углеводородного сырья на поздней стадии разработки газоконденсатных месторождений посвящены работы Алиева З.С., Баишева В.З., Баишева Р.В., Бузинов С.Н., Гукасова Н.А., Епрынцев А.С., Закирова С.Н., Кучерова Г.Г., Николаева О.В., Стекольников Ю.И., Черных В.А., зарубежных исследователей: Айтлера Й., Зейвальда М., Ли Дж., Никенса Г., Уэллса М. и других. Обобщая результаты исследований, можно сделать вывод, что в настоящее время сложилась система методов извлечения углеводородного сырья газоконденсатных месторождений, позволяющая решать широкий спектр задач в условиях фонтанной и механизированной добычи.

Для исследования системы добычи продукции в этих условиях предлагается использовать свойство живучести. Понятие живучести известно в технике, однако до сих пор не создано развитой теории, которая содержала бы, как теория надежности, общетехнические результаты, позволяющие исследовать это свойство, оценивать его количественно и разрабатывать практические рекомендации по обеспечению живучести сложных систем. Обобщая известные подходы, если в качестве объекта добычи газа рассматривать систему «пласт-скважина», то **живучесть этой системы (*SURV*)** – свойство, заключающееся в способности сохранять потенциальные возможности объекта в условиях неблагоприятных воздействий окружающей среды, выходящих за пределы проектных решений.

Процессы живучести объектов добычи газа (ЖОДГ) в условиях обводнения являются малоизученными. Практически каждый объект добычи газа (ОДГ) является уникальным, и для подбора необходимой технологии борьбы с обводнением (СОЖ – средства обеспечения живучести) для обеспечения его живучести требуется проведение длительных и масштабных экспериментальных исследований. Для сокращения ресурсозатрат на экспериментальные исследования предлагается проведение научных исследований с моделью объекта. Однако

такие исследования являются сложной, трудоемкой задачей, связанной с обработкой больших объемов информации и разработкой модели живучести объекта добычи газа. Для автоматизации информационных процессов научных исследований (НИ) на основе получения и использования модели объекта исследования в различных отраслях промышленности применяют специализированные автоматизированные системы научных исследований (АСНИ). Существующее прикладное программное обеспечение для создания интегрированных геолого-технологических моделей газоконденсатных месторождений (ИГТМ) [10] не позволяет исследовать живучесть объектов добычи газа.

В связи с изложенным, разработка математического, информационного и программного обеспечения АСНИ живучести объектов добычи газа в условиях обводнения на основе развития ИГТМ с учетом технологий извлечения пластовой жидкости является актуальной научной проблемой.

**Объект исследования** – автоматизированная система научных исследований объектов добычи газа газоконденсатных месторождений; **предмет** – математическое, информационное и программное обеспечение исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения.

**Цель исследования** – повышение эффективности научных исследований объектов добычи газа газоконденсатных месторождений в условиях обводнения на основе автоматизации выбора технологий извлечения пластовой жидкости и периода их использования по критерию живучести.

**Задачи исследования:**

1. Провести системный анализ проблем научных исследований живучести объектов добычи газа газоконденсатных месторождений в условиях обводнения.
2. Разработать методологию автоматизации научных исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения.
3. Разработать комплекс моделей для исследования живучести объектов добычи газа с учетом технологий извлечения пластовой жидкости.
4. Разработать методики и алгоритмы реализации моделей технологических процессов добычи углеводородного сырья из обводненных газовых скважин и расчета живучести объектов добычи газа.
5. Разработать информационное и программное обеспечение АСНИ живучести объектов добычи газа в условиях обводнения.
6. Провести экспериментальные исследования для выработки научно обоснованных рекомендаций оценки эффективности АСНИ по обеспечению живучести объектов добычи газа.

**Методы исследования.** При проведении исследования использовались техническая кибернетика, теория систем, теория управления, системный анализ, методы объектно-ориентированного программирования, статистический анализ, теория графов, теория моделирования, численные методы, теория разработки информационного и программного обеспечения; теория разработки месторождений нефти и газа, теория гидравлики и нефтегазовой механики, метода узлового анализа, теория надежности, теория живучести; теория эксперимента и др.

**Содержание диссертации** соответствует нижеследующим направлениям исследований паспорта научной специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами: пп. 3-4; п. 18.

### **Научная новизна** работы заключается в:

- разработанной концепции живучести объекта добычи газа, *отличающейся* сохранением потенциальных возможностей объекта в условиях неблагоприятных воздействий окружающей среды, выходящих за пределы проектных решений (п.3, п.4 паспорта специальности 2.3.3);
- предложенной методологии для автоматизации научных исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения месторождений природного газа, *отличающейся* использованием прогностического моделирования технологических процессов добычи газа с учетом технологий извлечения пластовой жидкости и периода их внедрения (п.3, п. 4, п. 18);
- разработанном комплексе моделей для исследований живучести объектов добычи газа с учетом технологий извлечения пластовой жидкости, *отличающемся* от ИГТМ газоконденсатного месторождения учетом динамики обводнения, моделью СОЖ и блоком инженерного расчета живучести (п. 4, п. 18);
- предложенном способе определения динамического уровня жидкости в затрубном пространстве обводненной газовой скважины, *заменяющем* прямое измерение, защищенном патентом на изобретение № 2571321 РФ, *отличающимся* использованием модели технологических процессов системы «пласт-скважина» для его определения;
- разработанных методиках и алгоритмах для реализации моделей технологических процессов добычи углеводородного сырья из обводненных газовых скважин, *отличающихся* оценкой живучести объектов добычи газа (п. 3, п. 4, п. 18);
- разработанной методике для оценки эффективности АСНИ живучести объектов добычи газа, *отличающейся* учетом обобщенных показателей результативности, ресурсоотдачи, времени проведения научных исследований (п. 3, п. 4, п. 18).

**Теоретическая значимость** работы заключается в предложенной методологии научных исследований живучести объектов добычи газа, основой которой является автоматизированная система, способствующая принятию решений по повышению живучести за счет применения различных технологий борьбы с обводнением и базирующаяся на системе прогностического моделирования технологических процессов добычи продукции.

### **Практическая значимость** работы определяется:

- применением разработанного комплекса моделей, *позволяющего* рассчитывать технологические процессы добычи газа в условиях обводнения и исследовать живучесть объектов добычи газа, оснащенных СОЖ;
- использованием разработанного способа, *позволяющего* определять динамический уровень жидкости в затрубном пространстве обводненной газовой скважины с электроцентробежным насосом на основе моделирования работы системы «пласт-скважина» [13];
- разработанным математическим, информационным, программным обеспечением и техническими решениями АСНИ живучести объектов добычи газа в условиях обводнения (свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ №№ 2013617790 [14], 2016663248 [15], 2019619658 [16]), *позволяющим* принимать решения по обеспечению живучести и рациональному использованию пластовой энергии за счет применения различных технологий борьбы с обводнением;
- разработанной методикой, *позволяющей* проводить оценку эффективности

АСНИ живучести объектов добычи газа, учитывающей обобщенные показатели результативности, ресурсоотдачи, времени проведения научных исследований;

- предложенными практическими рекомендациями, *позволяющими* обеспечить живучесть объектов добычи газа на Оренбургском месторождении.

**Обоснованность и достоверность** полученных результатов работы основана на используемой методологической базе исследования и обеспечивается принятыми ограничениями при разработке моделирующего аппарата, сходимостью результатов исследования с экспериментальными данными, внедрением в производственную деятельность газодобывающих и научно-исследовательских предприятий.

**Внедрение результатов исследований.** Основные теоретические положения и практические результаты диссертации внедрены в виде методик и алгоритмов обработки информации, информационного и программного обеспечения АСНИ живучести объектов добычи газа в Министерстве промышленности и энергетики Оренбургской области, ООО «Газпром добыча Оренбург», ООО «Газпром добыча Надым», ООО «ВолгоУралНИПИгаз», ООО «Парма-Телеком», ООО «Комита Цифровые технологии»; в образовательном процессе Оренбургского государственного университета и филиала РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- концепция живучести объектов добычи газа в условиях обводнения, предусматривающая использование средств обеспечения живучести (п.3, п.4);

- методология автоматизации научных исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения на основе прогностического моделирования технологий извлечения пластовой жидкости (п.3, п. 4, п. 18);

- комплекс моделей для исследования живучести объектов добычи газа с учетом технологий извлечения пластовой жидкости (п. 4, п. 18);

- методики и алгоритмы реализации моделей технологических процессов добычи углеводородного сырья из обводненных газовых скважин и расчета живучести объектов добычи газа (п. 3, п. 4, п. 18);

- математическое, информационное и программное обеспечение АСНИ живучести объектов добычи газа в условиях обводнения (п. 3, п. 4, п. 18);

- результаты оценки эффективности предложенных технических решений АСНИ живучести объектов добычи газа в условиях обводнения (п. 4, п. 18).

Основные положения диссертации отражают результаты многолетней работы автора в области разработки математического, информационного, программного обеспечения автоматизированных систем научных исследований и систем моделирования, в том числе при выполнении НИР по гранту Фонда содействия инновациям: № 9666ГУ/2015 «Разработка программной системы моделирования добычи газа с насосной откачкой пластовой жидкости из обводненных газовых скважин» (2015-2017 гг.). За работу по тематике диссертации автор удостоен персональной стипендии Оренбургской области для молодых ученых за 2016 год.

**Апробация работы.** Основные результаты работы обсуждались и получили одобрение на научных мероприятиях различного уровня:

- молодежных научно-технических конференциях: ООО «Газпром добыча Оренбург» «Актуальные проблемы развития Оренбургского нефтегазового комплекса и пути их решения», «Инновационный подход для повышения конкурентоспособности и эффективности предприятия», «Инновационные технологии в

газовой промышленности», «Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития предприятия» (Оренбург, 2016, 2018, 2020, 2022 гг.); X-ой научно-технической конференции молодых работников ООО «Газпром переработка» (Санкт-Петербург, 2022 г.);

- научно-технических конференциях с международным участием «Инновационные решения для нефтегазовой области (опыт и перспективы)» (Оренбург, 2011 г.), «Генезис, миграция и формирование месторождений углеводородного сырья в контексте их поиска, разведки и разработки» (Оренбург, 2018 г.);

- международной научной конференции «Нефть и газ» (Москва, 2019, 2020, 2022 гг.);

- международных научно-практических конференциях (НПК): «Наука, техника, инновации 2014» (Брянск, 2014 г.), «Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития» (Волгоград, 2014 г.); «Инновационное развитие нефтегазового комплекса» (Оренбург, 2016 г.); «Технические науки: научные приоритеты учёных» (Пермь, 2016 г.), «Актуальные задачи фундаментальных и прикладных исследований» (Оренбург, 2018 г.); «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» (Москва, 2023 г.);

- всероссийских научно-практических конференциях (ВНПК): «Теоретические вопросы разработки, внедрения и эксплуатации программных средств» (Орск, 2010 г.), ВНПК «Компьютерная интеграция производства и ИПИ- технологии» (Оренбург, 2011, 2013, 2017, 2019, 2021 гг.), X-ой ВНПК «Современные информационные технологии в науке, образовании и практике» (Оренбург, 2012 г.), «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии» (Кемерово, 2014 г.), «Нетрадиционные источники углеводородного сырья – поиски, разведка, разработка Волго-Уральского региона» (Оренбург, 2017 г.), «Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеводородного сырья» (Оренбург, 2019 г.); XV-ой Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса» (Москва, 2022 г.), «Современные научно-исследовательские и технологические аспекты программной инженерии» (Оренбург, 2023 г.);

- конференциях ООО «Газпром ВНИИГАЗ» «Современные методы комплексного моделирования разработки газовых и нефтегазоконденсатных месторождений» (Москва, 2022 г.; Сочи, 2023 г.); I-ом молодежном инновационном конвенте Оренбургской области, областной молодежной НПК (Оренбург, 2012 г.), конкурсе «УМНИК - 2015», I-ой межрегиональной НТК работников организаций «Газпром в Оренбуржье» «Молодежь и наука: цифровая трансформация бизнес процессов предприятия» (Оренбург, 2023 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 51 научная работа, 11 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в журнале, индексируемом в базе Scopus, 1 монография, 1 патент на изобретение, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 34 – в прочих изданиях.

**Личный вклад автора.** Все основные результаты работы и выносимые на защиту положения получены лично диссертантом. Основная часть опубликованных работ выполнена лично автором, частично в соавторстве с научным консультантом и коллегами, при этом вклад диссертанта был ключевым.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, библиографического списка из 290 наименований и приложений на 38 страницах, содержит 291 страницу, 155 рисунков и 15 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлено обоснование актуальности проблемы исследования, определены объект, предмет, границы, цель и научные задачи исследования, отражены научная новизна полученных в работе результатов, их практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту, апробация результатов работы и их реализация.

**В первом разделе** «Системный анализ проблем научных исследований объектов добычи газа в условиях обводнения» представлены результаты исследования объектов добычи газа на поздней стадии разработки газоконденсатного месторождения, осложненной неблагоприятными воздействиями, одним из основных является обводнение скважин; математического, информационного и программного обеспечения научных исследований; концептуального анализа объекта исследования.

В период падающей добычи разработка газоконденсатных месторождений осложняется обводнением газовых скважин, что приводит к выводу части скважин из эксплуатации. Такая проблема характерна для многих месторождений в России: Оренбургского, Вынгапуровского, Медвежьего, Уренгойского, Северо-Уренгойского, Ямбургского, Комсомольского и др.

Эксплуатационные показатели Основной залежи Оренбургского НГКМ, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о существенном росте числа обводненных газовых скважин при сохранении потенциальной возможности их дальнейшей эксплуатации.

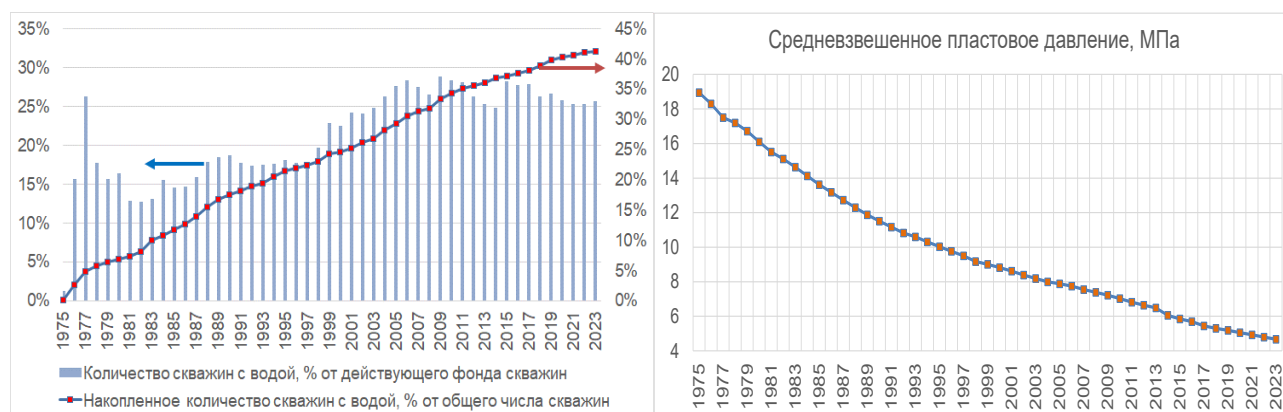


Рисунок 1 – Динамика эксплуатационных показателей Основной залежи ОНГКМ

Характеризовать влияние неблагоприятного воздействия обводнения скважин на систему добычи газа, ухудшающее проницаемость призабойной зоны и приводящее к снижению эксплуатационных показателей скважин и месторождения в целом предлагается свойством живучести. Обеспечение живучести обводненных газовых скважин возможно при использовании технологий борьбы с обводнением – СОЖ.

На рисунке 2 представлены способы эксплуатации «сухой» (а) и «обводненной» (б-е) газовой скважины, которые в зависимости от источника энергии для извлечения пластовой жидкости подразделяются на две группы. К первой группе относятся способы, использующие энергию пласта: а-б) фонтанный, в) концентрическая лифтовая колонна (КЛК), г) плунжер-лифт. Ко второй группе относятся механизированные способы добычи, использующие привлеченную



внешнюю энергию (электроэнергия, энергия закачиваемого газа и др.): д) установка электроцентробежного насоса (УЭЦН), е) установка винтового штангового насоса (УВШН). К СОЖ относятся способы эксплуатации в-е.

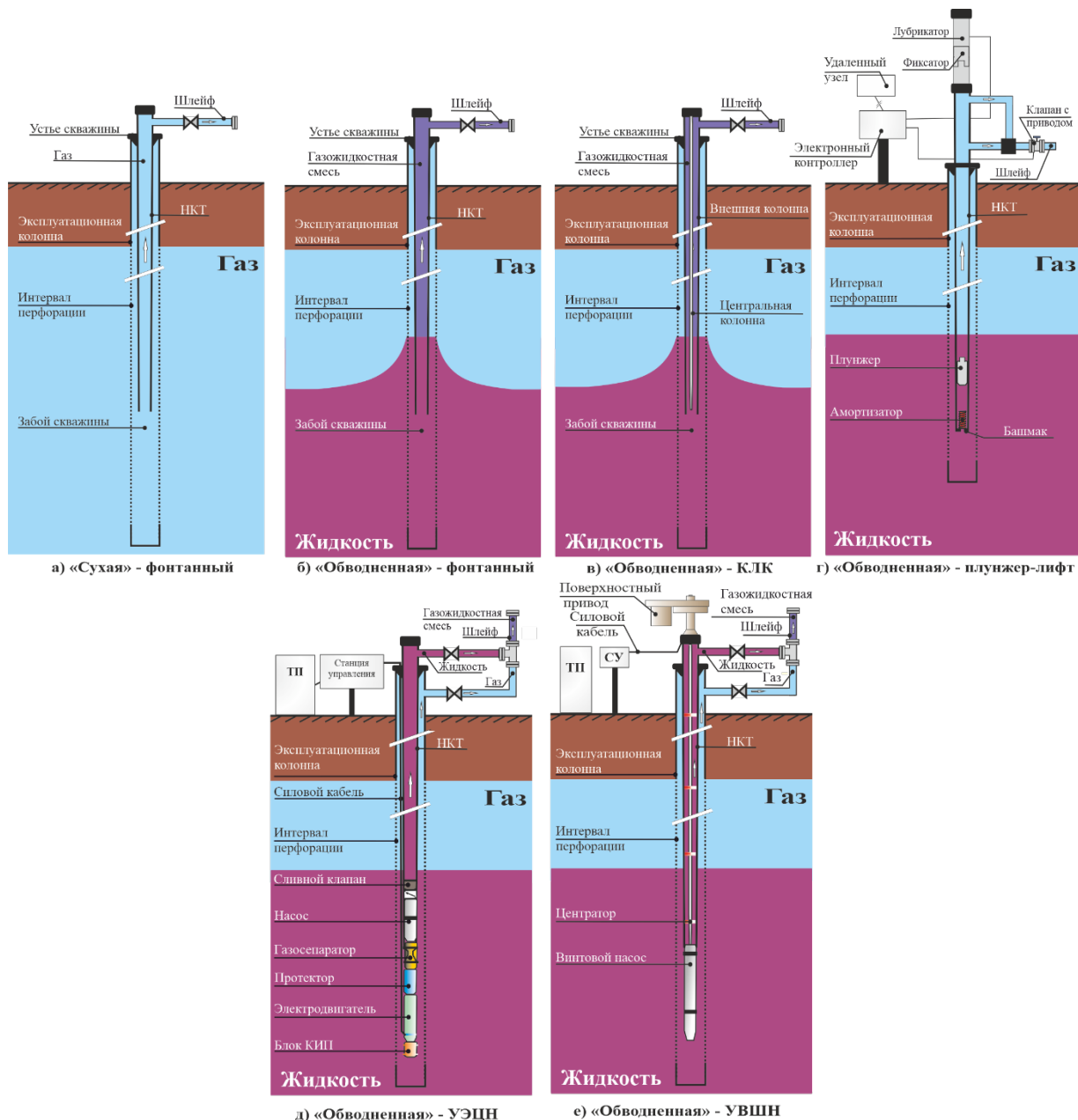


Рисунок 2 – Способы эксплуатации газовых скважин

Объект добычи газа представляет собой сложную геотехническую систему. Процессы живучести объектов добычи газа в условиях обводнения являются малоизученными. Практически каждый объект добычи является уникальным, и для подбора необходимого СОЖ для повышения его живучести требуется проведение дорогостоящих экспериментальных исследований. Для сокращения ресурсозатрат на экспериментальные исследования предлагается проведение научных исследований с моделью объекта. Такие исследования являются сложной задачей, которая связана со значительной трудоемкостью при обработке больших объемов информации, что требует автоматизации информационных процессов.

Проведен анализ существующего специализированного программного

обеспечения для моделирования системы добычи углеводородного сырья: PIPESIM (компания Schlumberger) представляет собой симулятор многофазного установившегося потока от пласта до устья скважины, позволяет выполнять оптимизацию механизированной добычи (УЭЦН, УЭВН, штанговый насос и газлифт); PROSPER (Petroleum Experts) – это инструмент для моделирования скважин и трубопроводов, позволяет подбирать оборудование для механизированной добычи: газлифт, УЭЦН, струйные насосы, штанговые насосы с учетом конструкции скважины, характеристики притока к забою. Доступна база данных оборудования (насосов, клапанов, электродвигателей и т.д.); tНавигатор (ИРМ), модуль «Дизайнер скважин» является частью интегрированного геолого-технологического симулятора, предназначен для моделирования скважин с учетом конструкции и траектории, свойств флюида и характеристик притока углеводородов из продуктивного пласта; программный комплекс Автотехнолог (ООО «ЦОНИК им. И.М. Губкина») предназначен для подбора и оптимизации оборудования нефтяной скважины, оснащенной УЭЦН, УВШН, штанговой насосной установкой. Позволяет рассчитывать показатели системы «нефтяной пласт – скважина – насосная установка» на основе авторских методик.

Рассмотренное выше коммерческое информационно-программное обеспечение (с закрытым программным кодом) предназначено для подбора оборудования механизированной добычи из нефтяных скважин по однорядному лифту (по насосно-компрессорным трубам или межтрубному пространству) и не позволяет моделировать СОЖ и исследовать живучесть объектов добычи газа газоконденсатного месторождения. Также отсутствует возможность интеграции данных продуктов в существующую на предприятии информационно-программную инфраструктуру, их модификации и самостоятельной разработки дополнительного функционала.

Для автоматизации процессов научных исследований в различных областях используются специализированные автоматизированные системы научных исследований (АСНИ). Обзор источников позволил выявить, что АСНИ в газодобывающей отрасли отсутствуют. Поэтому для исследования живучести объектов добычи газа в условиях неблагоприятных воздействий обводнения разработана новая АСНИ. В качестве критерия эффективности НИ предложен интегральный показатель эффективности – коэффициент эффективности НИ ЖОДГ ( $K_{esr}$ ), отражающий отдельные характеристики НИ: время проведения, ресурсоотдачу и результативность НИ. Чем больше значение  $K_{esr}$ , тем эффективнее процесс НИ ЖОДГ. Формализованное представление цели исследований (целевая функция) имеет вид [8]:

$$K_{esr}(k_t, k_{rc}, k_{ef}(k_{mc}, k_s, k_{st}, k_{dss})) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $k_t$  – показатель, характеризующий время проведения НИ;  $k_{rp}$  – показатель, характеризующий ресурсоотдачу НИ;  $k_{ef}$  – показатель, характеризующий результативность НИ;  $k_{mc}$  – показатель, характеризующий модельную полноту;  $k_s$  – показатель, характеризующий наличие функционала для выбора технологий борьбы с обводнением;  $k_{st}$  – показатель, характеризующий используемый подход к организации НИ;  $k_{dss}$  – показатель, характеризующий использование системы поддержки принятия решений.

Формализованное представление целевой функции АСНИ через параметры объекта добычи газа имеет вид [5]:

$$SURV\{Q_g(P_{r_{res}}, P_{r_w}, P_{res}(Q_{g\ n}, Q_{g\ dr}), P_{bh}(P_{wh}, Q_l, P_{ans}), T_{res}, T_{bh}, T_{wh}, T_{ans}, H_{din})\} \xrightarrow[Q_g > Q_{g\ cr}]{U(E(t))} \max, \quad (2)$$

где  $SURV$  – живучесть ОДГ;  $Q_{gn}, Q_{gdr}$  – накопленная добыча и объем остаточных дренируемых запасов газа;  $Pr_{res}, Pr_w$  – параметры пласта, конструкции и оборудования скважины;  $P_{res}, P_{bh}, P_{wh}, P_{ans}$  – давление пластовое, забойное, устьевое (трубное и затрубное);  $Q_g, Q_{gcr}$  – дебит газа и критический дебит газа;  $Q_l$  – дебит пластовой жидкости;  $T_{res}, T_{bh}, T_{wh}, T_{ans}$  – температура пластовая, забойная и устьевая (трубная и затрубная);  $H_{din}$  – динамический уровень жидкости в затрубном пространстве скважины;  $U(E(t))$  – управляющее воздействие в зависимости от используемой технологии борьбы с обводнением  $E$  во времени  $t$ .

Таким образом, результаты системного анализа проблем научных исследований живучести объектов добычи газа газоконденсатных месторождений в условиях обводнения позволили сформировать комплекс параметров, обеспечивающих построение АСНИ, отличающийся учетом динамического уровня жидкости в затрубном пространстве скважины, который не поддается прямому измерению для некоторых СОЖ, является критичным параметром для надежной работы электроцентробежного насоса.

**Во втором разделе «Методология автоматизации научных исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения скважин»** представлена концепция научных исследований живучести объектов добычи газа, основой которой является система прогностического моделирования технологических процессов добычи продукции газоконденсатных месторождений, учитывающая новые технологии извлечения пластовой жидкости и период их использования. В результате проведенных исследований разработана концепция автоматизации НИ ЖОДГ в условиях обводнения и технические решения структуры АСНИ живучести объектов добычи газа.

Концепция обеспечения живучести объектов добычи газа отражена на рисунке 3 [5], где представлена динамика дебитов газа  $Q_g$ : проектного  $Q_{gпр}$ , критического  $Q_{gкр}$  (при котором пластовая вода уже не может выноситься на устье скважины), предельного  $Q_{gпред}$  (при котором вся пластовая вода выносится на устье скважины), фактического  $Q_{gф}$  и дебита воды  $Q_{ж}$  обводненной газовой скважины.

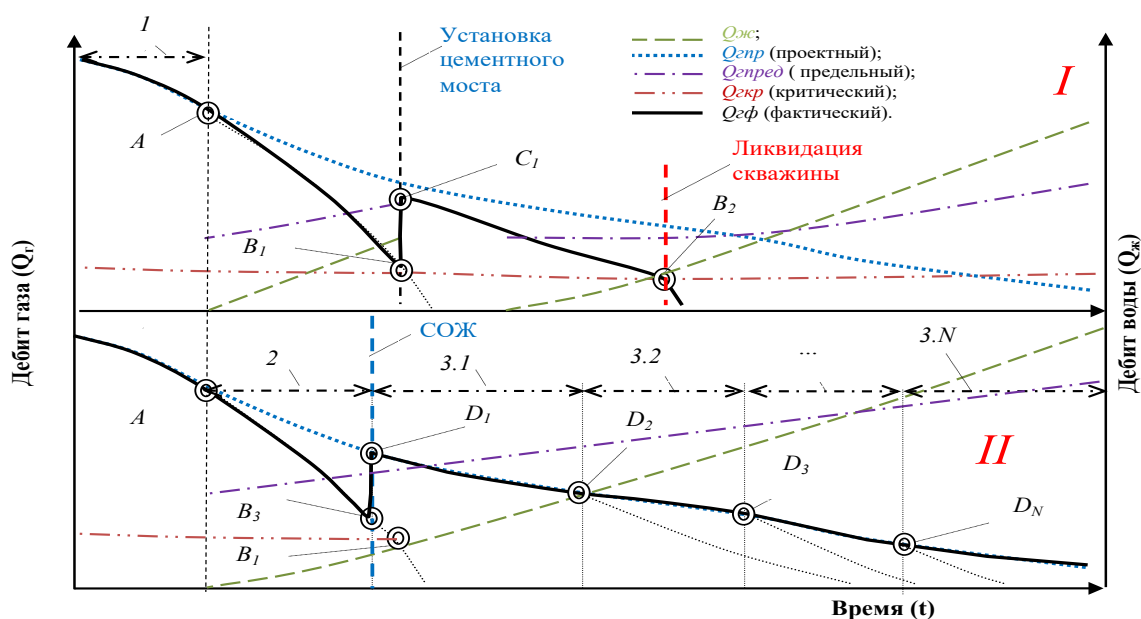


Рисунок 3 – Концепция живучести объектов добычи газа в условиях обводнения  
Верхняя область рисунка 3 (I) отражает режим работы скважины при фонтанном способе эксплуатации. Сначала наблюдается безводный период 1. После

наступления момента времени  $A$  в продукции скважины появляется вода  $Q_{ж}$ , которая снижает дебит газа, так как часть пластовой энергии тратится на ее подъем до устья, и в момент времени  $B_1$  дебит газа  $Q_{эф}$  становится меньше критического дебита  $Q_{кр}$  – скважина начинает работать с минимальным дебитом газа или самозадавливается. Если провести изоляцию обводненных интервалов продуктивного пласта (установить цементный мост), то дебит газа  $Q_{gfact}$  может возрасти до уровня  $C_1$ . Однако значение  $Q_{эф}$  уже не сможет достигнуть проектного дебита газа  $Q_{enp}$ , так как часть запасов газа останется изолированной в пласте. Далее скважина работает до наступления момента времени  $B_2$ , где происходит ситуация аналогичная  $B_1$ . Если в точке  $B_2$  происходит обводнение всего продуктивного пласта, то скважину остается только ликвидировать, иначе устанавливается цементный мост и эксплуатация скважины продолжается аналогичным образом.

Нижняя область рисунка 3 (II) отражает концепцию обеспечения живучести объектов добычи газа при использовании технологий борьбы с обводнением. Сначала как и в I наблюдается безводный период 1. Далее, в момент времени  $A$ , в продукции скважины появляется вода  $Q_{ж}$ . Однако в данном случае, не доводя до снижения дебита газа ниже критического ( $B_1$ ), в конце периода применения фонтанного способа эксплуатации 2 в момент времени  $B_2$  на скважине начинают использовать первую компоновку с применением одной из технологий борьбы с обводнением. При этом дебит газа  $Q_{эф}$  возрастает до проектного уровня  $Q_{enp}$  в точке  $D_1$ . Скважина эксплуатируется с применением первой компоновки в течение периода 3.1. Далее с момента времени  $D_2$  используется вторая компоновка в период 3.2 и так далее до компоновки  $N$  с периодом ее использования 3.N. Переход от одной компоновки скважины к другой связан с техническими ограничениями технологий борьбы с обводнением, объемом поступающей на забой скважины воды и другими причинами. Таким образом, выбор технологий борьбы с обводнением позволит повысить живучесть скважины, поддерживать проектный уровень добычи газа, увеличить коэффициент извлечения газа.

Предложена концептуальная модель автоматизации научных исследований живучести объектов добычи газа (рисунок 4) [5].

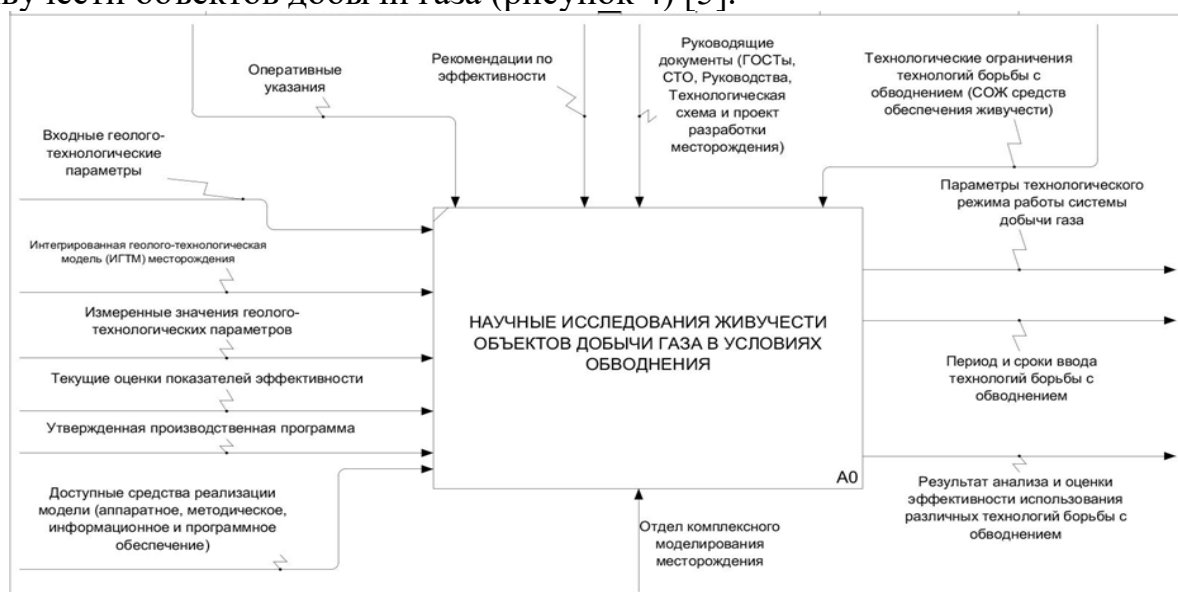


Рисунок 4 – Концептуальная модель автоматизации научных исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения

Согласно схеме рисунка 4 исследования выполняются специалистами отдела комплексного моделирования месторождения. Управляющая информация системы: руководящие документы нефтегазовой отрасли (государственные стандарты (ГОСТы), стандарты организаций (СТО), руководства, технологическая схема и проект разработки месторождения), а так же ограничения технологий борьбы с обводнением. В качестве входных параметров выступают: геолого-технологические параметры объекта добычи, результаты моделирования ИГТМ месторождения, измеренные значения геолого-технологических параметров (давления, температуры, расходы, свойства и состав пластовой смеси), текущие оценки показателей эффективности, доступные средства реализации модели (аппаратное, математическое, информационное и программное обеспечение). Результатами исследования являются: параметры технологического режима ОДГ, период и сроки ввода технологий борьбы с обводнением, результаты анализа и прогностическая оценка результатов использования различных СОЖ.

Предлагаемая архитектура АСНИ живучести объектов добычи газа представлена на рисунке 5 [3, 4, 7].



Рисунок 5 – Архитектура АСНИ живучести объектов добычи газа

АСНИ включает:

- программную систему ведения и верификации геолого-промысловых данных, полученных в результате промысловых и лабораторных исследований, конструкции и оборудования скважин, технологических ограничений, проектных значений показателей объекта добычи газа;
- интерфейс пользователя – лица, принимающего решения (ЛПР), для определения целей исследования и критериев выбора решений, просмотра результатов исследований;
- базы данных: рекомендуемых уставок и планов мероприятий (БД РУиПМ), геолого-промысловой информации (БД ГПИ), оборудования СОЖ (БД ОСОЖ), результатов моделирования (БД РМ);
- модель живучести объекта добычи газа;
- машину знаний, помогающую выбрать решение из множества альтернатив на основе заданных ЛПР критериев.

В рамках создания АСНИ живучести объектов добычи газа на основе общей модели живучести и подхода, предложенного Черкесовым Г.Н., разработана модель живучести объектов добычи газа в условиях обводнения – рисунок 6 [6], где 1 – технологические ограничения, проектные значения показателей добычи углеводородов, исходные экономические данные (цены углеводородов, ресурсов и др.); 2 – геолого-промысловые данные:  $Pr_{resl}$  – параметры водоносного пласта, свойства и состав пластовой жидкости; 3 – геолого-промысловые данные: свойства и состав газа; 4 – геолого-промысловые данные:  $Pr_{resg}$ ,  $Pr_w$  – параметры газоносного пласта, конструкции и оборудования скважины,  $Q_{гн}$ ,  $Q_{жн}$  – накопленная добыча газа и жидкости,  $P_{пл}$ ,  $P_{зab}$ ,  $P_y$ ,  $P_{зат}$  – давление пластовое, забойное, устьевое (трубное и затрубное); 5 – расчетные параметры притока жидкости к забою скважины; 6 – расчетные параметры движения газового потока по стволу скважины; 7 – расчетные параметры притока газа, показатели работы объекта добычи газа без обводнения; 8 – расчетные параметры газожидкостного потока по стволу скважины, показатели работы объекта добычи газа с учетом неблагоприятного воздействия обводнения; 9 – параметры оборудования СОЖ, 10 – характеристики СОЖ; 11 – фактические, проектные и расчетные значения показателей объекта добычи газа с СОЖ и без СОЖ; 12 – расчетные значения показателей объекта добычи газа с СОЖ и без СОЖ; 13 – показатели живучести объекта добычи газа.

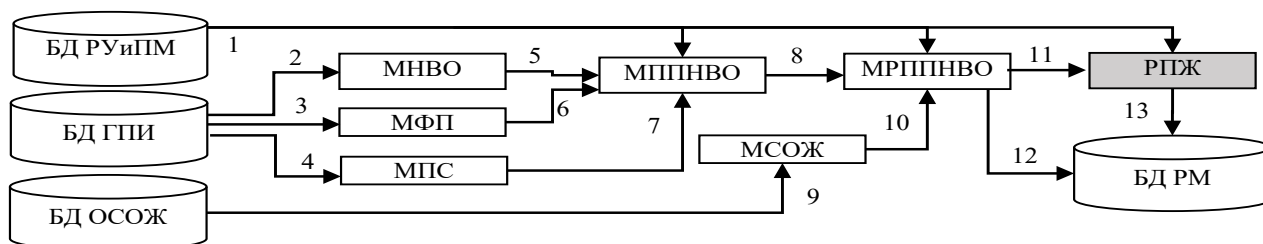


Рисунок 6 – Структурная схема модели живучести объектов добычи газа в условиях обводнения

Модель живучести объекта добычи газа включает следующие компоненты:

- модель неблагоприятного воздействия обводнения (МНВО), применяется для задания неблагоприятных воздействий обводнения на газовую скважину;
- модель физических процессов (МФП), используется для анализа переходных процессов в объекте добычи газа после неблагоприятных воздействий (изменение динамического уровня жидкости) и описывает процесс функционирования;
- модель «пласт-скважина» (МПС), описывает техническую и функционально-алгоритмическую структуры системы «пласт-скважина», в том числе модели функционирования и характеристики элементов, топологии системы, маршрутов информационных, материальных и энергетических потоков, функциональной и структурной иерархии. МПС включает взаимосвязанные геологическую, гидродинамическую модели залежей и гидродинамическую модель объекта добычи углеводородов, позволяющие получить комплексное представление о работе системы «пласт-скважины»;
- модель первичных последствий неблагоприятного воздействия обводнения (МПНВО), получается путем взаимодействия МПС, МФП и МНВО. В МФП вводятся возмущения, связанные с неблагоприятным воздействием обводнения, и рассматриваются переходные процессы в добыче газа, но без учета СОЖ;



– модель средств обеспечения живучести (МСОЖ), отражает характеристики средств контроля и управления при использовании технологий борьбы с обводнением. МСОЖ позволяет задать оснащение определенной компоновкой одной из технологий борьбы с обводнением на скважине: установки электроцентробежного насоса (УЭЦН), установки винтового штангового насоса (УВШН), плунжер-лифта, концентрической лифтовой колонны (КЛК) и др.;

– модель развития первичных последствий неблагоприятного воздействия обводнения (МРППНВО), получается в результате сочетания МППНВО с МСОЖ и позволяет найти траекторию управляемого процесса с учетом действий СОЖ;

– блок расчета показателей живучести (РПЖ) объекта добычи газа при различных вариантах использования СОЖ.

Таким образом, разработана методология автоматизации научных исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения, основой которой является система прогностического моделирования, учитывающая технологии извлечения пластовой жидкости и период их внедрения. Особенностью предлагаемой АСНИ является использование модели живучести объектов добычи газа, технически реализуемой на основе программного обеспечения ЭВМ. Основным источником исходных данных для моделирования является база данных геолого-промысловой информации.

**В третьем разделе** «Разработка математического обеспечения для оценки живучести объектов добычи газа в условиях обводнения» описаны разработанные компоненты модели живучести объектов добычи газа, критерий выбора наилучшего средства обеспечения живучести, методика определения динамического уровня жидкости в затрубном пространстве газовой скважины и алгоритмы имитационно-аналитического моделирования СОЖ АСНИ живучести объектов добычи газа.

Математическое обеспечение АСНИ для моделирования работы объектов добычи газа с СОЖ (МНВО, МФП, МПС, МППНВО, МСОЖ для УЭЦН, УВШН, плунжер-лифта и КЛК, МРППНВО) разработано на базе известных моделей технологических процессов добычи газа и насосного оборудования в нефтегазовой отрасли промышленности, адекватность которых доказана в процессе эксплуатации ИГТМ, может уточняться и дополняться по результатам научных исследований [12, 4]. МРППНВО используется для проведения узлового и системного анализа; определения потерь давления и получения характеристик работы скважин; подбора диаметра труб; моделирования СОЖ на скважинах; проверки и прогноза параметров технологических режимов работы скважин; расчета специальных таблиц, представляющих собой зависимость устьевого давления скважины от забойного для различных параметров работы скважины с учетом актуальной компоновки оборудования из БД ГПИ.

Однако в АСНИ отсутствует математическое обеспечение, необходимое для оценки показателей живучести объектов добычи газа (блок РПЖ) [6].

Живучесть объекта добычи газа предлагается оценивать по аналогии с подходом, применяемым для внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем, по трем показателям: результативности, ресурсоемкости и длительности использования СОЖ в условиях неблагоприятных воздействий, уровень которых превышает проектные. Отсюда, СОЖ необходимы для достижения цели функционирования системы – обеспечения

промышленной добычи газа в условиях неблагоприятных воздействий. При этом предполагается, что скважина является надежным техническим объектом: конструкция и эксплуатация скважины соответствует всем требованиям промышленной безопасности, все оборудование исправно.

Коэффициент ЖОДГ определяется выражением:  $S=f(Y_p, Y_r, Y_d)$ . Ресурсоемкость  $Y_r$  – свойство системы, характеризует эффективность использования ресурсов в процессе добычи газа в условиях неблагоприятных воздействий. Длительность использования СОЖ  $Y_d$  – свойство системы, характеризующее период времени применения СОЖ в условиях неблагоприятных воздействий. Ресурсозатраты  $R$  – потребные ресурсы, которые необходимы для эксплуатации скважин (в том числе на реализацию СОЖ) и функционирование АСНИ за определенный период времени. Типы ресурсов для реализации ОДГ с СОЖ и АСНИ: сырьевой, структурно-параметрический, энергетический, технический, технологический, информационный, временной, трудовой.

Разработана система уравнений для определения коэффициента ЖОДГ  $S$  – комплексного показателя, характеризующего ЖОДГ  $SURF$  в целевой функции (2):

$$\begin{cases} S = 0, \text{ если } Q_g < Q_{gmr}; \\ S = 1, \text{ если } Q_g \geq Q_{gpr}; \\ S = Y_p \left( Q_g \left( \begin{matrix} Pr_{res}, Pr_w, Pr_{res}(Q_{gn}, Q_{gdr}), \\ P_{bh}(P_{wh}, Q_l, P_{ans}), \\ T_{res}, T_{bh}, T_{wh}, T_{ans}, H_{din} \end{matrix} \right) \right) / \overline{Y_r(Q_{ln}, E(t))} \cdot \overline{Y_d(E(t))} \cdot \overline{\Delta P_{res}}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\overline{Y_r}, \overline{Y_d}, \overline{\Delta P_{res}}$  – нормализованные относительно значений базового варианта ОДГ (без СОЖ и без учета обводнения) расчетные значения показателей для варианта ОДГ с СОЖ: ресурсоемкости, времени эксплуатации ОДГ и изменения пластового давления;  $Q_{gmr}, Q_{gpr}$  – минимальный рентабельный и проектный дебит газа;  $Q_{ln}$  – накопленная добыча пластовой жидкости;  $E(t)$  – характеристики используемого СОЖ  $E$  во времени  $t$ .

Если дебит газа меньше минимального рентабельного дебита газа, то живучесть ОДГ равна нулю. Если дебит газа соответствует проектному дебиту, то живучесть скважины максимальная и равна единице. Иначе живучесть рассчитывается по третьей зависимости в системе уравнений (3). Максимальная накопленная добыча газа «сухой» скважины может быть равна извлекаемым запасам газа  $Q_{gdr}$ , дренируемых скважиной. Значение показателя результативности ОДГ с СОЖ  $Y_p$  определяется как отношение накопленного объема добываемого газа ОДГ с СОЖ за время  $t$   $Q_{gn}$  к накопленному объему добываемого газа ОДГ в базовом варианте  $Q_{gnpr}$ :  $Y_p = Q_{gn}(t) / Q_{gnpr}(t)$ .

Накопленная добыча газа  $Q_{gn}$  представляет собой функцию  $Q_g$  от времени  $t$ :

$$Q_{gn}(t) = f(Q_g(t)). \quad (4)$$

Для моделирования ОДГ в условиях обводнения с использованием СОЖ на каждом временном шаге  $t$  предлагается совместно решать уравнения, описывающие зависимости изменения пластового давления в газовом пласте в районе ОДГ с учетом материального баланса, притока газа и жидкости к забою, движения сырья от забоя к устью по насосно-компрессорным трубам (НКТ) и пространству между НКТ и эксплуатационной колонной (ЭК) с использованием СОЖ [1-2, 11]. Математическое обеспечение АСНИ живучести объектов добычи газа для СОЖ на примере УЭЦН и УВШН (основные уравнения и ограничения) представлено в таблице 1 [1-2, 11].



Таблица 1 – Математическое обеспечение АСНИ ЖОДГ с УЭЦН и УВШН

Эле-	Модель	Оценки переменных в моделях
1	2	3
«пласт»	<p>Уравнение материального баланса для газового режима:</p> $P_{res} = (P_{res\ b} \cdot Z_t / Z_b) \cdot (1 - Q_{g\ nt} / Q_{g\ dr}),$ <p>где <math>P_{res}</math>, <math>P_{res\ b}</math> – пластовое давление в момент времени <math>t</math>, начальное пластовое давление, МПа; <math>Z_b</math>, <math>Z_t</math> – коэффициент сверхсжимаемости газа в момент времени <math>t</math> и начальном пластовом давлении, рассчитываются с учетом свойств добываемой продукции; <math>Q_{g\ nt}</math> – объем добытого газа на момент времени <math>t</math>.</p> <p>Модель притока пластового газа к забою скважины <math>(P_{res}^2 - P_{bh}^2) = C \cdot Q_g^n</math>, где <math>n</math>, <math>C</math> – коэффициенты притока газа, рассчитываемые по данным экспериментальных исследований.</p> <p>Модель притока жидкости к забою скважины <math>P_{res} - P_{bh} = A \cdot Q_l + B</math>, где <math>Q_l</math> – расход жидкости, м<sup>3</sup>/сут; <math>A</math>, <math>B</math> – коэффициенты притока жидкости, рассчитываемые по данным экспериментальных исследований.</p> <p>Зависимость дебита жидкости от дебита газа</p> $Q_l = C \cdot Q_g^n / (A \cdot (P_{res} + P_{bh})).$	$n = \frac{\log \left( \frac{P_{res}^2 - P_{bh2}^2}{P_{res}^2 - P_{bh1}^2} \right)}{\log \left( \frac{Q_{g2}}{Q_{g1}} \right)},$ $C = (P_{res}^2 - P_{bh}^2) / Q_g^n,$ $B = 0,$ $A = \frac{P_{res} - P_{bh}}{Q_l}.$ $P_{res} \leq P_{res\ b}.$ $P_{bh} \leq P_{res}.$
«скважина»	<p>Модель работы ОДГ «сухим» газом по затрубному пространству</p> $P_h = \sqrt{P_{an}^2 \cdot e^{2 \cdot S_{st}} + (1,413 \cdot 10^{-12} \cdot K_g \cdot \lambda_g \cdot T_{av}^2 \cdot Z_{av}^2 \cdot Q_g^2 \cdot (e^{2 \cdot S_{din}} - 1))} / d_e^5,$ $S_{cm} = 0,03415 \cdot \overline{\rho_g} \cdot h / (T_{cp} \cdot Z_{cp}), S_{din} = 0,03415 \cdot \overline{\rho_g} \cdot L / (T_{cp} \cdot Z_{cp}),$ <p>где <math>P_h</math> – давление на глубине <math>h</math> от устья скважины, МПа; <math>T_{av}</math> – средняя по трубе температура продукции, К; <math>K_g</math> – коэффициент гидравлической эффективности (<math>K_g \geq 0</math>); <math>d_e</math> – эквивалентный диаметр затрубного пространства, мм; <math>Z_{av}</math> – коэффициент сверхсжимаемости газовой смеси; <math>\lambda_g</math> – коэффициент гидравлического сопротивления газовой смеси, <math>\overline{\rho_g}</math> – относительная (по воздуху) плотность газа; <math>h</math> – глубина скважины от устья скважины, м; <math>L</math> – длина трубы от устья до <math>h</math>, м.</p>	$P_{av} = (P_{an} + P_h) / 2,$ $T_{av} = (T_{wh} + T_h) / 2;$ $Z_{av} = (0,41 \lg \left( \frac{T_{av}}{T_{cr}} \right) + 0,73) \cdot \frac{P_{av}}{P_{cr}},$ $Re_g = K (Q_g \overline{\rho_g}) / (d_m \mu_g),$ $\mu_g = \mu_{cam} \exp(b \rho_{cp}^c) / 10^4,$ $\lambda_g = \frac{1}{4 \left[ \lg \left( \frac{5,62}{Re_g^{0,9} + 7,41} \right) \right]^2};$ $\varepsilon = 2l_k / (10d_{вн})$
УЭЦН	<p>Давление <math>P_{din}</math> на динамическом уровне жидкости <math>H_{din}</math> в затрубном пространстве скважины в пересчете с устья скважины:</p> $P_{din} = \sqrt{P_{an}^2 \cdot e^{2 \cdot S_{st}} + (1,413 \cdot 10^{-12} \cdot K_g \cdot \lambda_g \cdot T_{av}^2 \cdot Z_{av}^2 \cdot Q_g^2 \cdot (e^{2 \cdot S_{din}} - 1))} / d_e^5,$ $P_{bh} = P_{din} + \rho_l \cdot (H_{bh} - H_{din}) / 10^4,$ <p>где <math>P_{bh}</math> – давление на входе в насос (забое скважины), МПа.</p> <p>Основные характеристики УЭЦН: <math>E_{ECP} = f(Q_l, Q_g, q_l, H_{din}, H, EF, N, v, K_s)</math>, где <math>H</math> – напор, м; <math>EF</math> – коэффициент полезного действия (КПД); <math>N</math> – мощность, кВт; <math>q_l</math> – подача жидкости, м<sup>3</sup>/сут; <math>\mathbf{V}</math> – частота вращения вала ЭЦН, Гц; <math>K_s</math> – количество ступеней ЭЦН, штук. Характеристики ступени ЭЦН описываются зависимостями <math>EF</math>, <math>H</math>, и <math>N</math> от подачи жидкости (<math>q_l</math>):</p> $EF(q_l) = b_0 + b_1 \cdot q_l + b_2 \cdot q_l^2 + b_3 \cdot q_l^3 + b_4 \cdot q_l^4,$ $H(q_l) = a_0 + a_1 \cdot q_l + a_2 \cdot q_l^2 + a_3 \cdot q_l^3 + a_4 \cdot q_l^4 + a_5 \cdot q_l^5 + a_6 \cdot q_l^6,$ $N(q_l) = c_0 + c_1 \cdot q_l + c_2 \cdot q_l^2 + c_3 \cdot q_l^3 + c_4 \cdot q_l^4 + c_5 \cdot q_l^5 + c_6 \cdot q_l^6,$ <p>где <math>a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6</math> – коэффициенты с учетом паспорта насоса; <math>q_{l\ nom}</math>, <math>H_{nom}</math>, <math>\mathbf{V}_{nom}</math>, <math>N_{nom}</math> – номинальные значения подачи, напора, частоты вращения вала мощности.</p>	$ P_{bh}^{calc} - P_{bh}^m  \leq \varepsilon_1,$ <p>где <math>P_{bh}^{calc}</math> и <math>P_{bh}^m</math> – расчетное и измеренное значение давление на забое скважины, МПа; <math>\varepsilon_1</math> – инструментальная погрешность манометра на забое скважины, МПа. Характеристики УЭЦН подбираются таким образом, чтобы <math>q_l = Q_l</math>.</p> <p>Формулы подбора:</p> $\frac{q_l}{q_{l\ nom}} = \left( \frac{v}{v_{nom}} \right), \frac{H}{H_{nom}} = \left( \frac{v}{v_{nom}} \right)^2,$ $\frac{N}{N_{nom}} = \left( \frac{v}{v_{nom}} \right)^3,$
УВШН	<p>Основные характеристики ВШН описываются следующей функциональной зависимостью: <math>E_{PCP} = f(Q_l, q_l, H_{din}, H, T, M, V)</math>, где <math>T</math> – крутящий момент, кгс·м; <math>M</math> – мощность, кВт; <math>V</math> – скорость вращения штанги, об/мин. Основные характеристики винтового насоса описываются зависимостями:</p> $q_l(H) = d_3 \cdot H^3 + d_2 \cdot H^2 + d_1 \cdot H + d_0,$ $T(H) = w_1 \cdot H + w_2, \quad M(H) = k_1 \cdot H + k_2,$ <p>где <math>d_0, d_1, d_2, d_3, w_1, w_2, k_1, k_2</math> – коэффициенты из паспортной характеристики винтового насоса с учетом условий ОДГ.</p>	<p>Характеристики УВШН подбираются таким образом, чтобы <math>q_l = Q_l</math>.</p>

На рисунке 7 представлена динамика коэффициента ЖОДГ:  $S_{np}$  – проектного,  $S_{\phi}$  – без использования СОЖ,  $S$  – с управляющим воздействием (применением СОЖ). Без применения СОЖ из-за samozadaвливания пластовой жидкостью коэффициент живучести скважины может снизиться до значения  $S_{min}$ , при котором эксплуатация скважины становится нерентабельной.

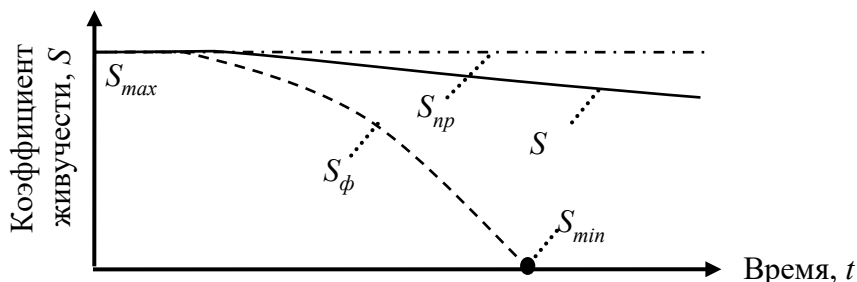


Рисунок 7 – Динамика коэффициента живучести объекта добычи газа

Минимальный рентабельный (промышленный) дебит газа  $Q_{gmr}$  – суточная добыча газа, обеспечивающая компенсацию ресурсозатрат на эксплуатацию скважины с СОЖ, то есть равны чистому доходу от реализации добытой продукции  $M$ :  $R=M$ . Накопленная добыча газа  $Q_{gn}$  – объем газа, добытый из скважины за определенный период времени. Фактическое (расчетное) значение показателя результативности объекта добычи газа  $Y_{pf}$  ( $Y_p$ ) определяется как отношение фактического (прогнозного) накопленного объема добываемого газа за время  $t$   $Q_{gf}$  ( $Q_g$ ) к проектному  $Q_{gpr}$ :  $Y_{pf} = Q_{gf}(t) / Q_{gpr}(t)$ ,  $Y_p = Q_g(t) / Q_{gpr}(t)$ . Ресурсоемкость  $Y_r$  определяется как отношение ресурсозатрат и объема добытого газа за время  $t$ :  $Y_r = R(t) / Q_g(t)$ . Длительность использования СОЖ:  $Y_d = \Delta t$ .

Подбор СОЖ ОДГ производят с учетом следующих данных: производственных параметров скважины (истории добычи, конструкции скважины, глубины забоя, пластового давления и температуры, траектории ствола скважины, состава и свойств пластового флюида, содержание механических примесей); инфраструктурных параметров скважины (местоположение, ограниченность пространства, тип закачивания, источник внешней энергии, герметичность эксплуатационной колонны); возможных производственных проблем (коррозия оборудования, пенообразование, солеотложение, гидратообразование).

Для выбора наилучшего СОЖ ОДГ предлагается критерий, математическое выражение которого представляется функцией (наилучшим является СОЖ с максимальным значением коэффициентом живучести  $S$ , которое находится по (4)):

$$S\{Y_p(E(t)), Y_r(Q_{ln}, E(t)), Y_d(E(t))\} \xrightarrow[Q_g > Q_{gmr}]{} \frac{U(E(t))}{max}. \quad (5)$$

Диаграмма состояний в процессе моделирования эксплуатации объекта добычи газа с УЭЦН представлена на рисунке 8.

Разработанный математический аппарат позволяет проводить подбор средств обеспечения живучести и является основой для построения АСНИ живучести объектов добычи газа.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены показатели, характеризующие работу ОДГ в условиях обводнения скважин. Предложена модель ЖОДГ, включающая модель «пласт-скважина», модель обводнения, модель средств обеспечения живучести. Определены основные ресурсы, необходимые для эксплуатации ОДГ с использованием СОЖ и ее исследования.

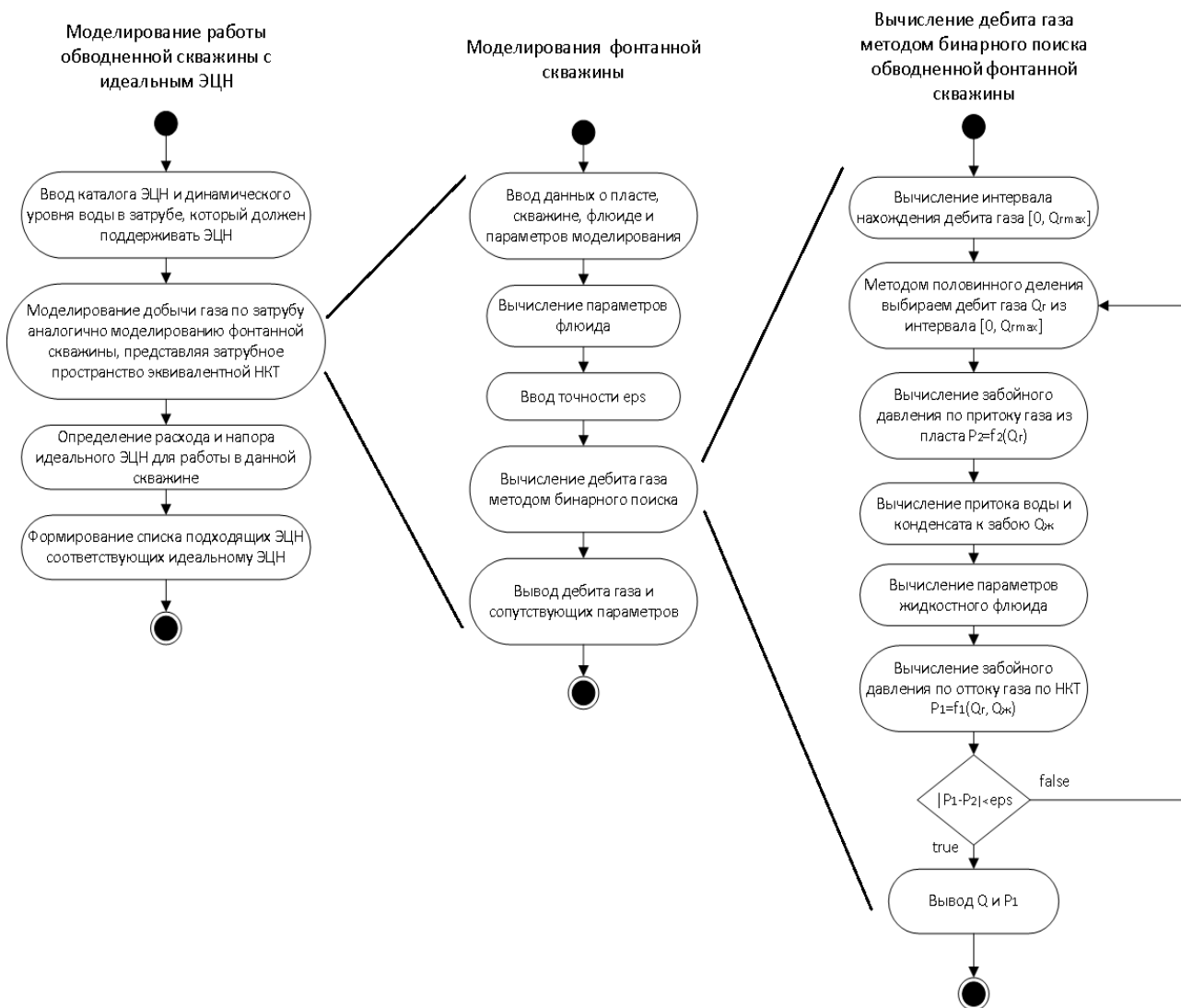


Рисунок 8 – Диаграмма состояний в процессе моделирования ОДГ с УЭЦН

Разработан математический аппарат для расчета коэффициента живучести объекта добычи газа, учитывающий свойства результативности, ресурсоемкости при использовании технологий борьбы с обводнением на скважинах. Выявлены параметры, которые необходимо учитывать при выборе средств обеспечения живучести. Определен критерий выбора наилучшего средства обеспечения живучести обводненной газовой скважины.

**В четвертом разделе «Разработка автоматизированной системы научных исследований объектов добычи газа»** представлены разработанные информационное и программное обеспечение (ПО) АСНИ.

Информационную основу АСНИ составляют базы данных БД РУиПМ, БД ГПИ, БД ОСОЖ и БД РМ.

БД ГПИ содержит исходные данные по скважине, результаты геофизических, газогидродинамических, промысловых и лабораторных исследований, данные технологических режимов работы, геолого-технических отчетов, конструкции и оборудования, геологического строения, вскрытых участков пласта, траектории, простоях скважин, местоположении, свойствах и составе пластового флюида и другой информации.

Даталогическая модель БД РМ представлена на рисунке 9.

БД РМ предназначена для хранения исходной информации и результатах моделирования: параметры объектов добычи газа, оборудовании СОЖ, исследователе, выполняющем моделирование, а также заданных условий, при которых проводится расчет.

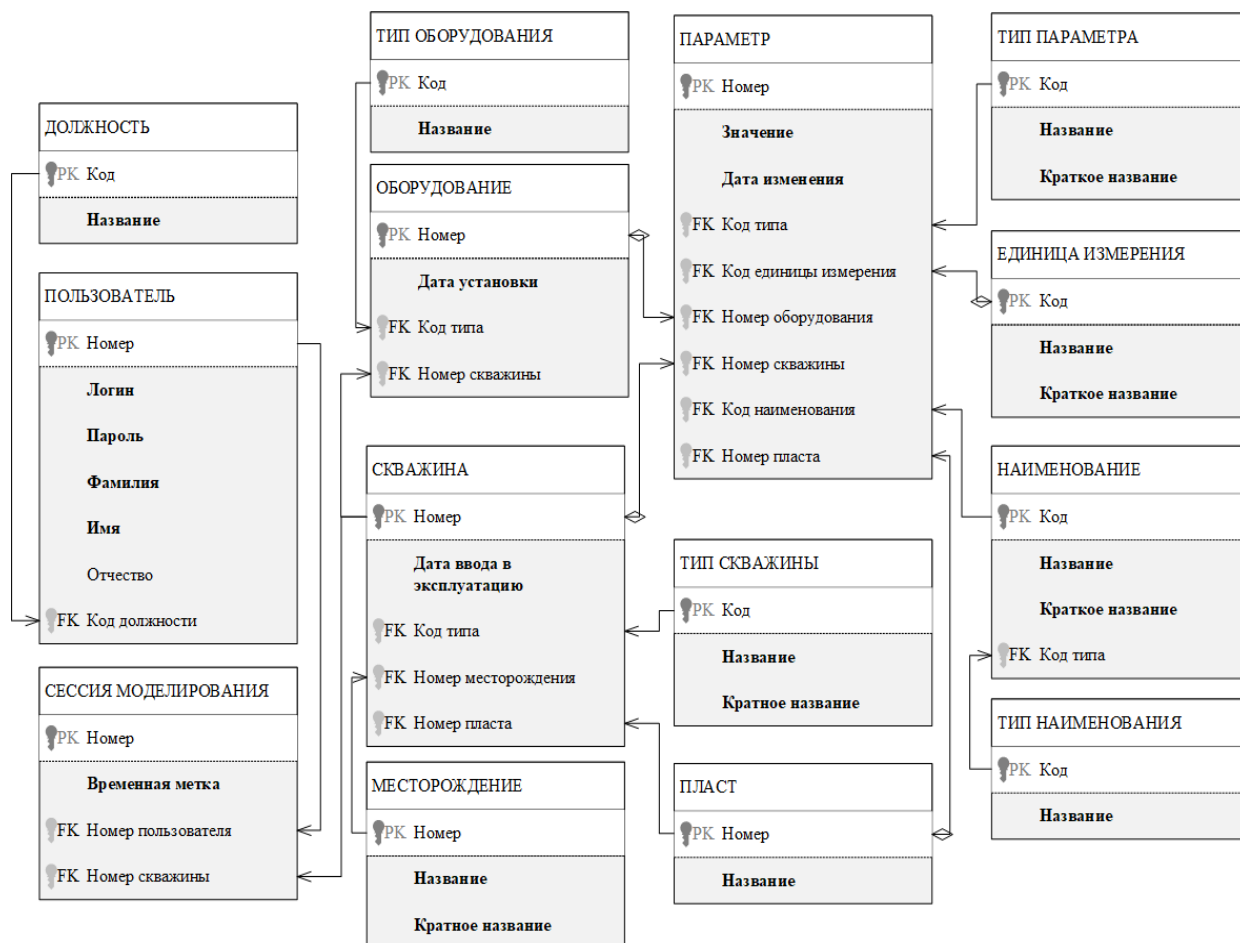


Рисунок 9 – Даталогическая модель базы данных результатов моделирования

Предложена структура программного обеспечения АСНИ живучести объектов добычи газа, которая представлена на рисунке 10 [7].

Для ведения и верификации содержимого баз данных разработано ПО (ПС «Работы на скважине»), позволяющее получать оперативный доступ к каталогу отчетных документов и результатам проведенных геолого-промысловых и лабораторных исследований, информации о распределении давления, температуры и плотности продукции по стволу скважины. Для ведения и анализа данных первичных результатов геолого-промысловых исследований скважин разработан модуль «GPI», позволяющий обрабатывать данные о распределении давления, температуры и плотности флюида по стволу скважины, уровня жидкости в статике и динамике, представлять в виде графиков историю изменения устьевых и забойных давлений скважины в статическом и динамическом режимах, проводить расчеты забойного давления «сухих» и обводненных газовых скважин с учетом их конструктивных и геологических особенностей.

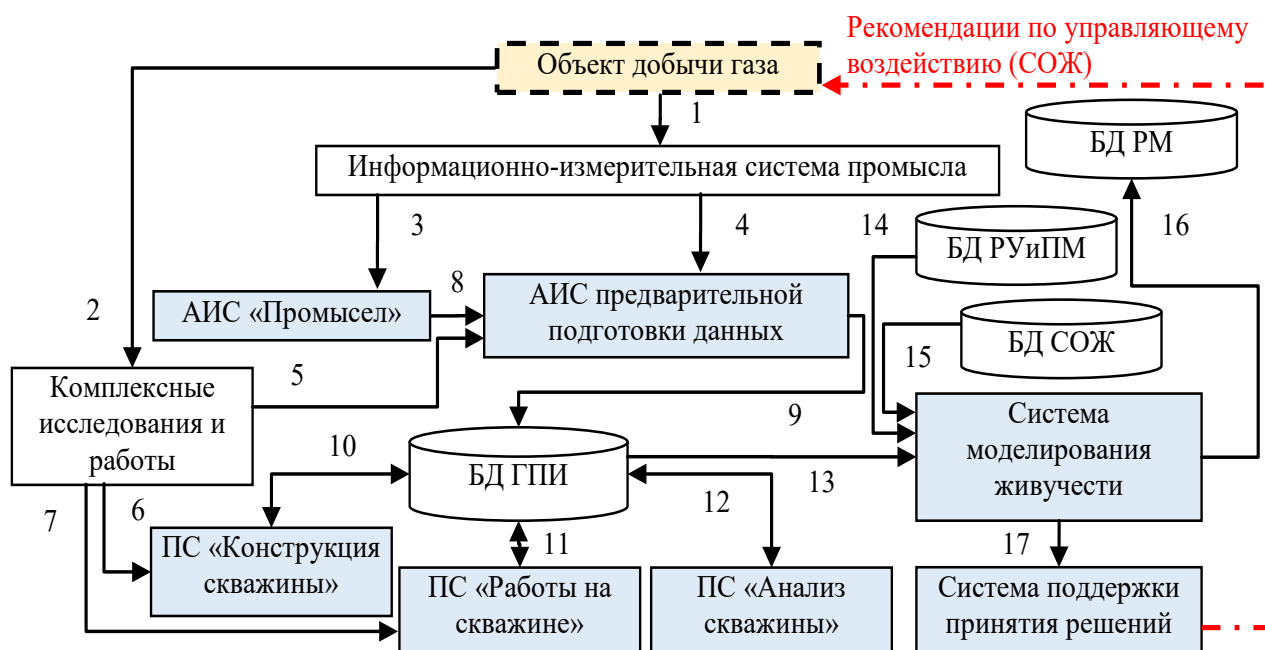


Рисунок 10 – Программное обеспечение АСНИ живучести объектов добычи газа: АИС – автоматизированная информационная система; ПС – программная система; 1, 2 – показатели объекта добычи газа; 3, 4, 5 – результаты измерений и исследований скважин; 6, 10 – данные о конструкции и оборудовании скважин; 7, 8, 9, 11, 12, 13 – геолого-промысловые данные; 14 – технологические ограничения, проектные значения показателей добычи углеводородов, исходные экономические данные; 15 – параметры оборудования СОЖ; 16 – расчетные значения показателей объекта добычи газа с СОЖ и без СОЖ, показатели живучести объекта добычи газа; 17 – рекомендации по использованию СОЖ; 18 – рекомендации по управляющему воздействию (СОЖ)

Специальные программные системы («Конструкция скважин», «Работы на скважине», «Анализ скважины») позволяют формировать исходные данные для интегрированной геолого-технологической модели месторождения, представлять в виде таблиц и графиков историю изменения параметров скважины в статике и динамике, проводить расчеты забойного давления, проводить анализ разработки месторождений, визуализировать и осуществлять выгрузку данных в заданном формате.

Иерархия основных классов для моделирования СОЖ представлена на рисунке 11.

В составе АСНИ разработана система моделирования, реализующая МРППНВО, для проведения узлового и системного анализа; определения потерь давления и получения характеристик работы скважин; подбора диаметра труб; моделирования СОЖ на скважинах; проверки и прогноза параметров технологических режимов работы скважин; расчета таблиц потерь давления в трубах, расчета показателей живучести.

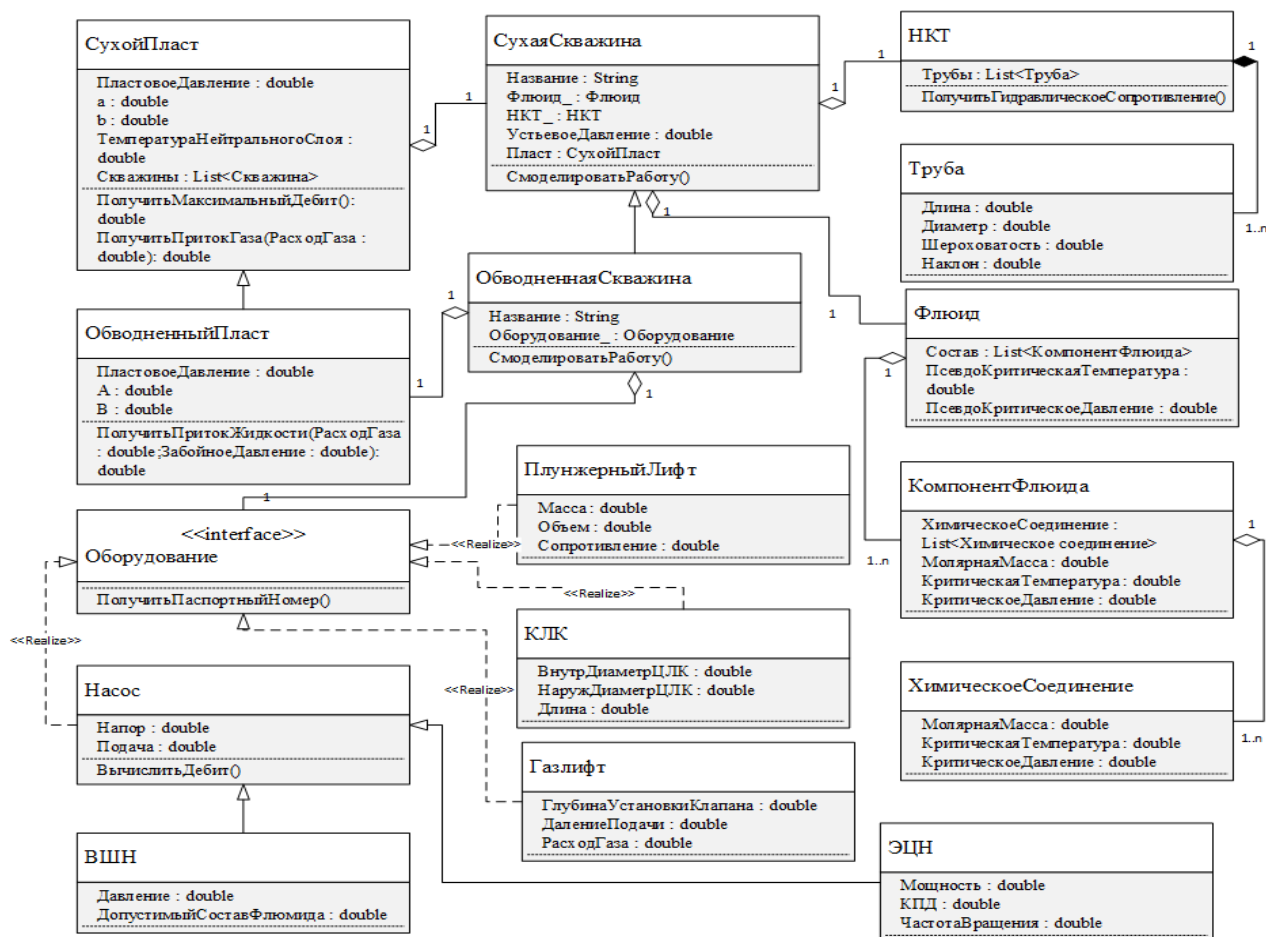


Рисунок 11 – Иерархия основных классов для моделирования СЖ

Таким образом, разработанное новое информационное и программное обеспечение АСНИ живучести объектов добычи газа, дополняющее систему ИГТМ, реализует подготовку, обработку, верификацию, хранение и анализ данных об ОДГ на основе интеграции существующих и вновь созданных информационно-программных подсистем. АСНИ позволит выполнять прогностическое моделирование реальных условий эксплуатации скважин, формировать варианты и принимать решения по обеспечению ЖОДГ в условиях обводнения за счет применения различных технологий борьбы с обводнением.

**В пятом разделе «Анализ эффективности автоматизированной системы научных исследований живучести объектов добычи газа»** представлены разработанная методика оценки эффективности АСНИ, результаты проведенной оценки эффективности и направления дальнейших исследований.

Предложены технические решения по компоновке газовой скважины с управляемой насосной добычи пластовой жидкости с УЭЦН, включающей в себя измерительные устройства на установке комплексной подготовки газа (УКПГ), устье и забое скважины для получения информации о параметрах ОДГ с УЭЦН [17].

Проблемой оценки эффективности АСНИ ЖОДГ в условиях обводнения является техническая сложность и высокая ресурсозатратность проведения натурного эксперимента. Поэтому разработка методики экспериментальных исследований АСНИ живучести ОДГ становится актуальной задачей [8].

Основным методом оценки эффективности АСНИ ОДГ в условиях обводнения предлагается метод имитационно-аналитического моделирования для проведения виртуального эксперимента. Разработана схема имитационно-аналитического моделирования для оценки эффективности АСНИ ЖОДГ исследования ЖОДГ, состоящая из 3-х частей: информационной, имитационной и аналитической (рисунок 12).

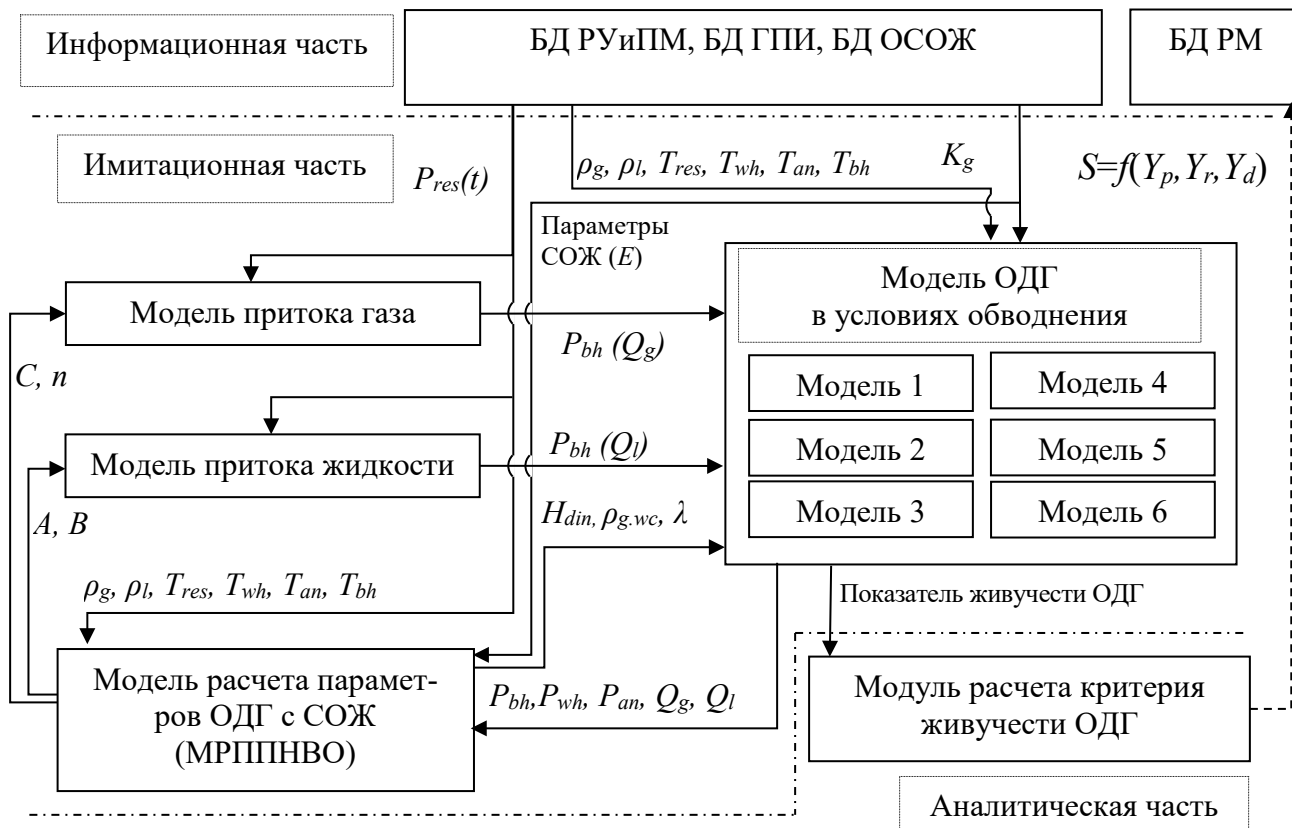


Рисунок 12 – Схема имитационно-аналитического моделирования для оценки ЖОДГ с АСНИ

Элементами информационной части являются БД РУиПМ, БД ГПИ, БД ОСОЖ и БД РМ. Элементами имитационной части модели являются модели ОДГ, имеющей 6 вариантов: 1 – модель ОДГ без учета обводнения (отражает потенциал ОДГ), 2 – модель ОДГ с учетом пластовой жидкости в продукции без СОЖ, 3 – модель ОДГ с УЭЦН, 4 – модель ОДГ с УВШН, 5 – модель ОДГ с плунжер-лифтом, 6 – модель ОДГ с КЛК с использованием разработанной АСНИ. Элементом аналитической части модели является модуль расчета критерия ЖОДГ в условиях обводнения.

Приняты следующие ограничения при проведении эксперимента:

- перед началом эксперимента задаются состав продукции, конструкция и оборудование скважины, коэффициенты уравнений притока газа и пластовой жидкости, текущие значения дренируемых запасов газа ОДГ, пластового давления в газовой залежи, пластового давления в водонапорном бассейне, температур устьевой и пластовой, параметров СОЖ;

- расчеты технологических показателей (в первую очередь накопленных добычи газа и воды, длительности работы ОДГ) выполняются по вариантам 1-6 до достижения значения пластового давления, при котором данный вариант ОДГ перестает работать (дебит газа становится меньше рентабельного или критического дебита), или

до достижения минимального значения пластового давления (для учета потерь давления, связанных с системой промыслового транспорта и предварительной подготовки принято, что минимальное значение  $P_{res}$  задано равным 1 МПа);

– значение устьевое давления  $P_{wh}$  принято в зависимости от пластового давления  $P_{res}$ :  $P_{wh} = 2,2 \text{ МПа}$ , если  $P_{res} > 3 \text{ МПа}$ ;  $P_{wh} = 1,2 \text{ МПа}$ , если  $2 \text{ МПа} < P_{res} \leq 3 \text{ МПа}$ ;  $P_{wh} = 0,8 \text{ МПа}$ , если  $P_{res} \leq 2 \text{ МПа}$ .

Результаты имитационного эксперимента на основе эксплуатационных данных обводненной скважины ОНГКМ представлены в таблице 2 и на рисунке 13.

Таблица 2 – Результаты имитационного эксперимента и оценки живучести

Вариант	Добыча газа, млн м <sup>3</sup>	Добыча жидкости, тыс. м <sup>3</sup>	$\Delta P_{res}/\Delta P_{respr}$	$\bar{Y}_d$	$Y_p$	$\bar{Y}_r$	S	Коэффициент экономической эффективности (Cs-R)/(Cs1-R1)	Коэффициент экономической эффективности (Cs-R)/(Cs2-R2)	Эффект (Cs-R) – (Cs2-R2) относительно варианта 2, млн у.е.
1	183	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–	–	–
2	87	98	0,44	0,10	0,44	0,35	0,06	0,49	–	–
3	183	1194	1,00	0,92	1,00	2,77	0,33	0,91	1,86	168
4	183	1194	1,00	0,92	1,00	2,96	0,31	0,90	1,84	164
5	79	95	0,41	0,75	0,41	3,80	0,04	0,37	0,76	-47
6	87	98	0,44	0,10	0,44	0,44	0,05	0,49	1,00	-1

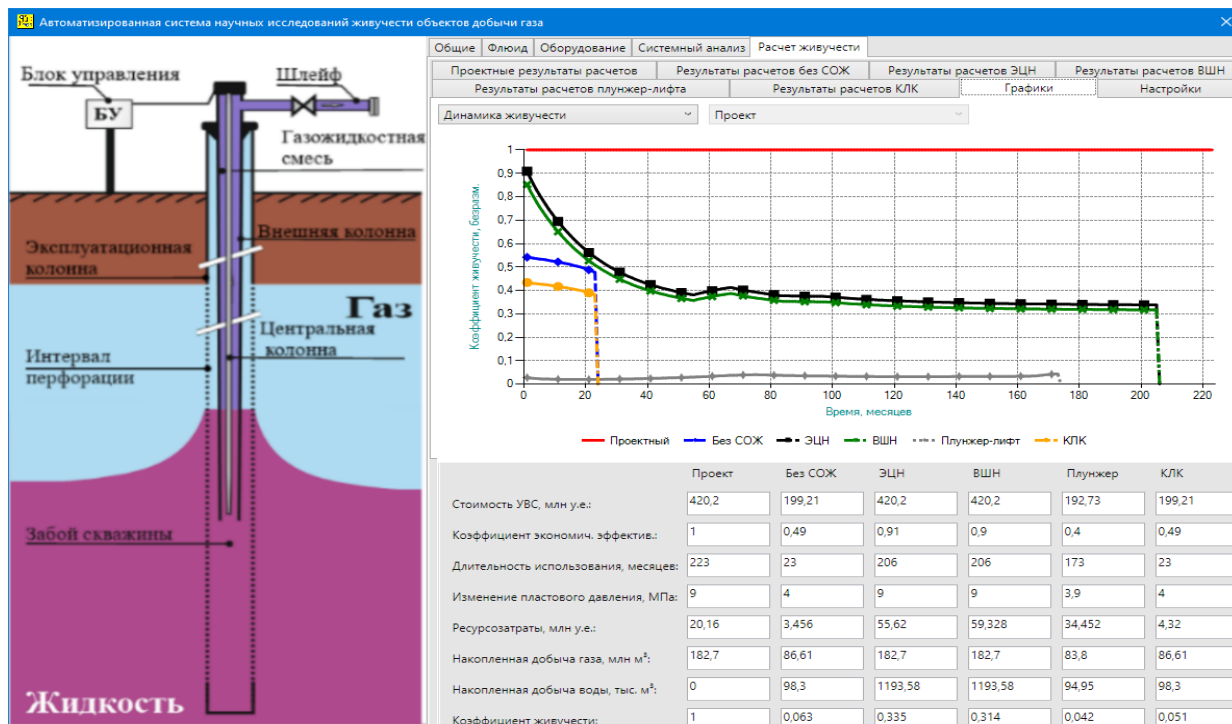


Рисунок 13 – Результаты моделирования ЖОДГ в АСНИ по вариантам 1-6



В процессе эксперимента для каждого варианта ОДГ определены следующие значения показателей: изменение пластового давления  $\Delta P_{res}$ , накопленная добыча газа  $Q_{gn}$ , накопленная добыча воды  $Q_{ln}$ , ресурсозатраты  $R$ , длительность эксплуатации  $Y_d$ , ресурсоемкость  $Y_r$  и коэффициент живучести  $S$ .

Анализ результатов эксперимента (таблица 2) показывает, что без использования СОЖ (2-ой вариант) коэффициент живучести равен 0,06 по сравнению с вариантом по проекту. В расчетах при использовании СОЖ по 3-ему варианту (модель ОДГ с УЭЦН) – 0,33, по 4-ому варианту (модель ОДГ с УВШН) – 0,31, по 5-ому варианту (модель ОДГ с плунжер-лифтом) – 0,04, по 6-ому варианту (модель ОДГ с КЛК) – 0,05.

При этом проведена упрощенная экономическая оценка эффективности вариантов работы ОДГ – рассчитан коэффициент экономической эффективности  $(Cs - R)/(Cs_0 - R_0)$  (как отношение разницы стоимости добытого углеводородного сырья (УВС)  $Cs$  и ресурсозатрат  $R$  по варианту ОДГ к разнице стоимости добытого УВС  $Cs_0$  и ресурсозатрат  $R_0$  по базовому варианту). Если в качестве базового варианта ОДГ использовать вариант 1 (данный способ расчета используется в АСНИ), то для варианта 2 значение коэффициента экономической эффективности равно 0,49; 3 – 0,91; 4 – 0,90; 5 – 0,37, 6 – 0,49. Таким образом, вариант 3 наиболее близок к варианту 1. Если в качестве базового варианта использовать ОДГ по варианту 2, то коэффициент экономической эффективности для варианта ОДГ 3 равен 1,86 (дополнительный эффект 168 млн у.е.), 4 – 1,84 (164 млн у.е.), 5 – 0,76 (-47 млн у.е.), 6 – 1,00 (-1 млн у.е.).

В соответствии с динамикой показателей ОДГ по варианту 3, выполнен подбор возможных компоновок ОДГ с УЭЦН, характеристики которых обеспечат добычу всей пластовой жидкости, результаты представлены на рисунке 14. Наиболее подходящими являются ЭЦН 5А-200 и ЭЦН 5-200.

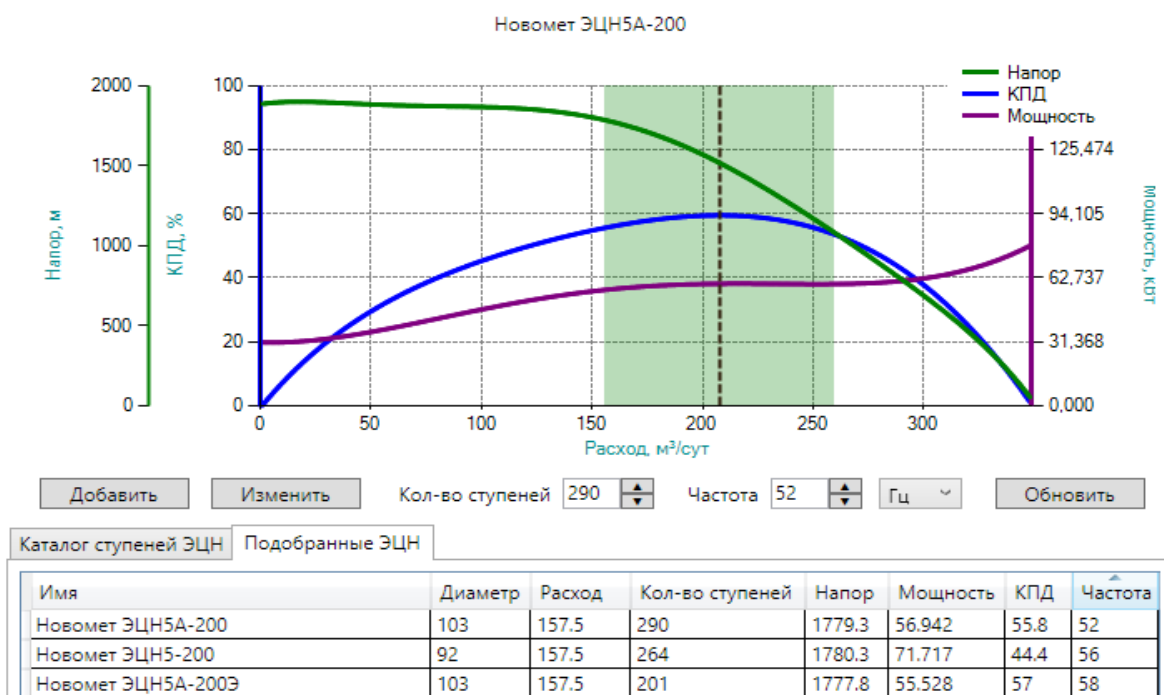


Рисунок 14 – Результаты моделирования в системе моделирования АСНИ, подобранные УЭЦН в соответствии с показателями ОДГ по варианту 3

Таким образом, проведена оценка результатов экспериментальных исследований АСНИ ЖОДГ на основе разработанной имитационно-аналитической модели, СОЖ в 3-ем варианте (УЭЦН) позволит обеспечить живучесть ОДГ и соответствует лучшему варианту (по критерию 5) при заданных характеристиках ОДГ в условиях обводнения, а в сравнении с вариантом ОДГ 2 без использования СОЖ коэффициент экономической эффективности равен 1,86 (дополнительный эффект 168 млн у.е.). Разработанная АСНИ может использоваться как инструмент, автоматизирующий информационные процессы научных исследований ОДГ по выбору СОЖ. В то же время внедрение УЭЦН (или других СОЖ) требует дополнительных материальных затрат, что в современных условиях дефицита средств должно сопровождаться детальным комплексным экономическим анализом предложенных технических решений по компоновке ОДГ.

В соответствии с целевой функцией (1) для определения критерия эффективности НИ предложены следующие зависимости:

$$K_{esr} = \lambda_1 \cdot k_t + \lambda_2 \cdot k_{rc} + \lambda_3 \cdot k_{ef}, \quad (6)$$

$$k_t = \alpha_1 \cdot k_{de} + \alpha_2 \cdot k_o + \alpha_3 \cdot k_a, \quad (7)$$

$$k_{rc} = \beta_1 \cdot k_{lp} + \beta_2 \cdot k_p, \quad (8)$$

$$k_{ef} = \gamma_1 \cdot k_{mc} + \gamma_2 \cdot k_s + \gamma_3 \cdot k_{st} + \gamma_4 \cdot k_{dss}, \quad (9)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  – весовые коэффициенты показателей;  $k_{de}$  – показатель, характеризующий временный эффект от применения методов планирования эксперимента;  $k_o$  – показатель, характеризующий оперативность обработки информации;  $k_a$  – показатель, характеризующий доступность информации;  $k_{lp}$  – показатель, характеризующий производительность труда;  $k_p$  – показатель, характеризующий рентабельность.

Значения весовых коэффициентов  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  определены на основе экспертной оценки и сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Значения весовых коэффициентов

Обозначение коэффициента	Значение	Примечание
$\lambda_1$	0,3	Время проведения
$\lambda_2$	0,3	Ресурсоотдача
$\lambda_3$	0,4	Результативность
$\alpha_1$	0,3	Планирование эксперимента
$\alpha_2$	0,4	Оперативность
$\alpha_3$	0,3	Доступность
$\beta_1$	0,7	Производительность труда
$\beta_2$	0,3	Рентабельность
$\gamma_1$	0,3	Модельная полнота
$\gamma_2$	0,2	Предварительный выбор технологий борьбы с обводнением
$\gamma_3$	0,3	Используемый подход к организации НИ
$\gamma_4$	0,2	Использование системы поддержки принятия решений

Проведена сравнительная оценка эффективности НИ при решении задачи ЖОДГ на базе АСНИ и известных автоматизированных систем по предложенному критерию

(1) на базе значений из таблицы 3. Значения показателей, характеризующих составные части эффективности при решении задач НИ ОДГ, сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Значения показателей эффективности по вариантам с АСНИ ЖОДГ (индекс <sup>A</sup>) и с использованием известных автоматизированных систем (индекс <sup>0</sup>)

Обозначение	Значение	Примечание
$k_t^0$	0,23	Время проведения НИ
$k_t^A$	0,67	
$k_{rc}^0$	0,30	Ресурсоотдача НИ
$k_{rc}^A$	0,67	
$k_{ef}^0$	0,33	Результативность НИ
$k_{ef}^A$	0,94	

Коэффициенты эффективности НИ, рассчитываются по зависимостям (6-9) с учетом значений весовых коэффициентов (таблица 3) и показателей (таблица 4):

$$K_{esr}^0 = 0,3 \cdot 0,23 + 0,3 \cdot 0,30 + 0,4 \cdot 0,33 = 0,29;$$

$$K_{esr}^A = 0,3 \cdot 0,67 + 0,3 \cdot 0,67 + 0,4 \cdot 0,94 = 0,78.$$

Таким образом, анализ результатов эксперимента показывает, что использование АСНИ живучести объектов добычи газа при решении задачи научных исследований живучести повышает эффективность таких исследований более чем в 2 раза за счет увеличения их результативности и ресурсоотдачи, а также снижения времени проведения исследований.

Для обеспечения ЖОДГ ОНГКМ предлагается использовать различные СОЖ, которые подбираются в зависимости от текущих условий ОДГ с помощью разработанной АСНИ, при этом наиболее универсальным является вариант с использованием УЭЦН. Минимальное значение пластового давления определяется с учетом давления забрасывания, связанного с ограничениями системы сбора, предварительной подготовки и компримирования по зонам ОНГКМ. Расчеты ЖОДГ выполняются по вариантам (проектный, без использования и с использованием различных компоновок СОЖ) до достижения значения пластового давления, при котором данный вариант ОДГ перестает работать (дебит газа становится меньше минимального рентабельного дебита). Дополнительно необходимо проводить технико-экономическую оценку возможности утилизации добываемой воды системой подготовки продукции на УКПГ. При этом учитывать, что из добытой пластовой воды также дополнительно возможно извлечь ценные компоненты (например, ценные металлы).

**В заключении** отражены основные результаты и выводы исследования.

**В приложении** представлены документы внедрения и апробации результатов диссертационного исследования, справочные данные и зависимости для моделирования технологических процессов добычи газа, фрагменты исходного текста программного обеспечения АСНИ живучести объектов добычи газа в условиях обводнения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Системный анализ научных исследований живучести объектов добычи газа газоконденсатных месторождений в условиях обводнения как объекта исследований позволил выявить потенциальную возможность добычи газа из обводненных скважин и отсутствие единой методологии научных исследований живучести объектов добычи газа для определения рационального пути использования пластовой энергии совместно с технологиями борьбы с обводнением – средствами обеспечения живучести.

2. Предложена методология научных исследований живучести объектов добычи газа, основой которой является разработанная автоматизированная система, способствующая принятию решений по повышению живучести за счет применения различных технологий борьбы с обводнением и базирующаяся на системе прогностического моделирования технологических процессов добычи продукции.

3. Предложенный комплекс моделей живучести объектов добычи газа, включающий прогностические модели технологических процессов добычи продукции из обводненных газовых скважин, позволяет оценивать показатели живучести объектов добычи газа и подбирать наилучшее средство обеспечения живучести.

4. Разработанные методики и алгоритмы позволяют реализовать комплекс моделей живучести объектов добычи газа в системе прогностического моделирования технологических процессов добычи углеводородного сырья в условиях обводнения, составляют математическое обеспечение АСНИ.

5. Разработанное информационное и программное обеспечение АСНИ позволяет заменить дорогостоящие натурные испытания моделированием реальных процессов и определить варианты обеспечения живучести объектов добычи газа в условиях обводнения скважин за счет использования средств обеспечения живучести.

6. Проведенные экспериментальные исследования показали, что использование АСНИ живучести объектов добычи газа при решении задачи научных исследований живучести повышает эффективность таких исследований более чем в 2 раза за счет увеличения их результативности и ресурсоотдачи, а также снижения времени проведения исследований. Результаты имитационного эксперимента с помощью системы моделирования АСНИ живучести объектов добычи газа на основе разработанной имитационно-аналитической модели показали, что лучшим вариантом средства обеспечения живучести при заданных характеристиках объекта добычи газа в условиях обводнения оказался вариант с использованием установки электроцентробежного насоса (коэффициент живучести равен 0,33, коэффициент экономической эффективности равен 1,86, дополнительный эффект около 168 млн условных единиц). Разработанная АСНИ может использоваться как инструмент, автоматизирующий информационные процессы научных исследований объектов добычи газа по выбору технологий борьбы с обводнением.

Дальнейшие научные исследования необходимо направить на разработку методики оценки живучести объектов добычи газа в условиях обводнения с учетом потерь давления на транспортировку продукции по шлейфам; разработку интеллектуальных методов подбора средств обеспечения живучести для системы поддержки принятия решений; разработку методики оценки влияния использования средств обеспечения живучести объекта добычи газа в условиях обводнения на продуктивность соседних скважин; решение проблемы оптимального выбора на месторождении скважин-кандидатов для оснащения средствами обеспечения живучести с целью повышения эффективности работы всего фонда скважин; оценку влияния добытой пластовой жидкости на систему предварительной подготовки углеводородного сырья и моделирование ее утилизации; исследования влияния прочих неблагоприятных воздействия на объекты добычи газа и выбор средств обеспечения живучести; использование полученных результатов при создании «цифрового двойника» ОНГКМ.

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

### в рецензируемых научных журналах из «Перечня...» ВАК:

1. **Валеев, А.Ф.** Моделирование системы «пласт-скважина-шлейф» обводненных газовых скважин / А.Ф. Валеев, А.Г. Шуэр, Н.А. Соловьев // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2012. – №10. – С. 31 – 35.
2. **Валеев, А.Ф.** Концепция совершенствования технологических режимов работы системы «пласт-скважина-шлейф» в условиях обводнения газовых скважин и способ её реализации [Электронный ресурс] / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев, А.Г. Шуэр // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2013. – №4. – С. 136-149. – Режим доступа: [http://www.ogbus.ru/authors/ValeevAF/ValeevAF\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/ValeevAF/ValeevAF_1.pdf).
3. **Валеев, А.Ф.** Информационно-измерительная система управляемой насосной откачки пластовой жидкости из обводненных газовых скважин / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2015. – № 1. – С. 46-54.
4. Соловьев, Н.А. Моделирование в задаче восстановления промышленной добычи газа из обводненных скважин / Н.А. Соловьев, **А.Ф. Валеев**, А.О. Салихов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2017. – № 11. – С. 7 – 10.
5. Соловьев, Н.А. Концепция автоматизации научных исследований живучести системы добычи газа в условиях обводнения скважин / Н.А. Соловьев, **А.Ф. Валеев** // Программные продукты и системы, 2019. - Т. 32. - № 3. - С. 462–471. DOI: 10.15827/0236-235X.127.462-471.
6. Соловьев, Н.А. Развитие модели живучести системы добычи газа в условиях обводнения скважин / Н.А. Соловьев, **А.Ф. Валеев** // Доклады ТУСУРа, 2022. - Т. 25. - № 1. - С. 93–100. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-25-1-93-100.
7. **Валеев, А.Ф.** Информационно-программное обеспечение автоматизированной системы научных исследований живучести объектов добычи газа / А.Ф. Валеев // Программные продукты и системы, 2023. - Т. 36. - № 2. - С. 263-271. DOI: 10.15827/0236-235X.142.263-271.
8. **Валеев, А.Ф.** Оценка эффективности автоматизации процессов научных исследований живучести объектов добычи газа / А.Ф. Валеев // Программная инженерия, 2023. - Т. 14. - № 9. - С. 431-441. DOI: 10.17587/prin.14.431-441.
9. **Валеев, А.Ф.** Экспериментальные исследования эффективности автоматизированной системы научных исследований живучести объектов добычи газа / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев, А.В. Фатнев, А.С. Колубаев, С.К. Самарцев // Автоматизация и информатизация ТЭК, 2024. - № 5 (610). - С. 13-21.
10. Колубаев, А.С. Методика построения интегрированной геолого-технологической модели Западного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения / А.С. Колубаев, **А.Ф. Валеев**, В.А. Манин [и др.] // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2024. – № 7 (612). – С. 15–25.
11. **Валеев, А.Ф.** Моделирование живучести объектов добычи газа в условиях обводнения / А.Ф. Валеев // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2024. – № 9 (614). – С. 15–26.

### статьи в рецензируемых научных журналах Scopus:

12. Solovyov, N.A. Automated System for Substantiation of Commercial Production Recovery from Water-Flooded Gas Wells [Автоматизированная система для обоснования восстановления промышленной добычи из обводненных газовых скважин; Электронный ресурс] / N.A. Solovyov, **A.F. Valeev**, A.O. Salikhov // International Review of Automatic Control (I.R.E.A.CO.), 2018. - Vol. 11, № 3. - С.107-112. - 6 с. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i3.13670>.

### патент на изобретение:

13. Пат. № 2571321 РФ, МПК E21B 47/047, G01F 23/14. Способ определения динамического уровня жидкости в затрубном пространстве обводненной газовой скважины / **А.Ф. Валеев**, Н.А. Соловьев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет». – № 2014134362/03; заявл. 21.08.2014 – опубл. 20.12.2015 Бюл. № 35.

### свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

14. Св.-во гос. рег. progr. для ЭВМ № 2013617790, Российская Федерация. Программная система моделирования технологических процессов добычи и сбора продукции из обводненных газовых скважин / **А.Ф. Валеев** (RU), Н.А. Соловьев (RU), А.Г. Шуэр. (RU). – № 2013615583; дата поступления 03.07.2013; дата регистр. в Реестре программ для ЭВМ 23.08.2013 г. - Оpubл. 20.09.2013 г., Эл.бюл.№ 3.

15. Св.-во гос. рег. прогр. для ЭВМ № 2016663248, Российская Федерация. Программная система моделирования добычи газа с насосной откачкой пластовой жидкости из обводненных газовых скважин / **А.Ф. Валеев** (RU), Салихов А.О.(RU), Н.А. Соловьев (RU).– № 2016660784; дата поступления 14.10.2016; дата регистр. в Реестре программ для ЭВМ 29.11.2016 г.

16. Св.-во гос. рег. прогр. для ЭВМ № 2019619658, Российская Федерация. Автоматизированная система комплексных исследований живучести газовых скважин в условиях обводнения / И.Д. Михайлов (RU), А.А. Ларионов (RU), И.Д. Михайлов (RU), **А.Ф. Валеев** (RU), Н.А. Соловьев (RU).– № 2019618333; дата поступления 09.07.2019; дата регистр. в Реестре программ для ЭВМ 22.07.2019 г. - Оpubл. 22.07.2019 г., Эл.бюл.№ 8.

**монография:**

17. **Валеев, А.Ф.** Информационное и программное обеспечение системы измерения технологических параметров добычи продукции обводненных газовых скважин: монография / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев – Оренбург: Изд. «Университет», 2015. – 146 с.

**в других изданиях:**

18. Валеев, А.Ф. Анализ проблем добычи продукции газоконденсатного месторождения в условиях обводнения скважин / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев // Теоретические вопросы разработки, внедрения и эксплуатации программных средств: материалы всерос. науч.-практ. конф. – Орск: Изд. ОГТИ, 2011. – С. 18-21.

19. Валеев, А.Ф. Технология насосной добычи пластовой жидкости из обводненных газовых скважин / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы V всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург: ИП Осиночкин Я.В., 2011. – С. 500-502.

20. Валеев, А.Ф. Анализ методов механизированной добычи пластовой жидкости обводненных газовых скважин / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: материалы X всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2012. – С. 7-11.

21. Валеев, А.Ф. Система имитационного моделирования технологических процессов газодобычи с механизированной откачкой пластовой жидкости / А.Ф. Валеев // Материалы науч. школы-семинара молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2012. – С. 7-12.

22. Валеев, А.Ф. Проверка адекватности моделей работы шлейфовых трубопроводов Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Ф. Валеев // Материалы Ежегодной областной молодежной науч.-практ. конф. – Оренбург: ООО «Агентство «Пресса»», 2012. – С. 181.

23. Валеев, А.Ф. Программное обеспечение отработки информационно-управляющей системы добычи газа с механизированной откачкой пластовой жидкости / А.Ф. Валеев // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы VI всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С. 242-246.

24. Валеев, А.Ф. Методика и алгоритм определения динамического уровня жидкости в обводненной газовой скважине / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев // Наука, техника, инновации 2014: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Брянск: НДМ, 2014. – С. 197-202.

25. Валеев, А.Ф. Методика оценки эффективности информационно-измерительной системы насосной откачки пластовой жидкости из обводненных газовых скважин / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: материалы VI всерос. науч.-практ. конф. – Кемерово: ООО «Азия-Принт», 2014. – С. 27-28.

26. Валеев, А.Ф. Методика экспериментальных исследований информационно-измерительной системы насосной откачки жидкости из обводненных газовых скважин / А.Ф. Валеев, Н.А. Соловьев // Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Нижний Новгород: ООО «Ареал», 2014. – С. 62-66.

27. Вологин, И.С. Визуализация конструкции скважины в программе «WELL DESIGN» / И.С. Вологин, А.Ф. Валеев // Нефтегазовое дело: теория, исследования, производство, учебный процесс: материалы междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. д.и.н., проф. С.Г. Горшенина. – Оренбург, 2015. – С. 53-55. ISBN 978-5-9631-0346-3.

28. Баишев, В.З. Автоматизированная информационная система ведения геолого-промысловых данных нефтегазоконденсатных месторождений / В.З. Баишев, И.С. Вологин, А.Ф. Валеев // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2016. – №3. – С. 25-29.

29. Вологин, И.С. Обработка первичных результатов геолого-промысловых исследований скважин / И.С. Вологин, А.Ф. Валеев // Инновационное развитие нефтегазового

комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. д.и.н., проф. С.Г. Горшенникова. – М.–Оренбург: Амирит, 2016. – С. 107-111. ISBN 978-5-9908580-4-6.

30. Валеев, А.Ф. Проблемы насосной откачки пластовой жидкости из обводненных газовых скважин и методы их разрешения / А.Ф. Валеев, А.О. Салихов // Технические науки: научные приоритеты учёных: материалы междунар. науч.-практ. конф. № 1. – Пермь: Эвенсис, 2016. – С. 6-10.

31. Валеев, А.Ф. Особенности моделирования системы добычи и сбора продукции скважин Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Ф. Валеев // «Нетрадиционные источники углеводородного сырья – поиски, разведка, разработка Волго-Уральского региона»: материалы I всероссийской науч. конф. – Оренбург: ООО «Типография Агентство пресса», 2017. – С. 8 - 15.

32. Соловьев, Н.А. Программная система моделирования промышленной добычи продукции из обводненных газовых скважин / Н.А. Соловьев, А.Ф. Валеев, А.О. Салихов // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы VIII всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2017. – С. 507 - 511.

33. Валеев, А.Ф. Автоматизация исследований живучести системы добычи газа в условиях обводнения скважин / А.Ф. Валеев // «Генезис, миграция и формирование месторождений углеводородного сырья в контексте их поиска, разведки и разработки»: материалы I всерос. науч. конф. с международ. участием. – Оренбург, 2018. – С. 8-12.

34. Система имитационного моделирования технологических процессов добычи газа из обводненных скважин / И.Д. Михайлов, И.Д. Михайлов, А.А. Ларионов, А.Ф. Валеев // «Студенческие научные общества – экономике регионов»: материалы международной молодежной научной конф. II часть. – Оренбург: Издательско-полиграфический комплекс ОГУ, 2018. – С. 316 - 320.

35. Соловьев, Н. А. Развитие геолого-технологической модели газоконденсатных месторождений с учетом обводнения газовых скважин / Соловьев Н. А., Валеев А. Ф., Ларионов А. А. // Университетская наука: решения и инновации : материалы Всерос. науч.-практ. конф., 23-25 окт. 2018 г. - Оренбург : ОГУ, 2018. - С. 120-124.

36. Соловьев, Н. А. Моделирование технологии откачки пластовой жидкости из обводненной газовой скважины погружным электроцентробежным насосом / Н.А. Соловьев, А.Ф. Валеев, И.Д. Михайлов // Актуальные задачи фундаментальных и прикладных исследований : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 20 нояб. 2018 г. - Оренбург : ОГУ, 2018. - С. 144-147.

37. Соловьев, Н.А. Информационные технологии моделирования живучести обводненных газовых скважин / Н.А. Соловьев, А.Ф. Валеев, И.Д. Михайлов // Актуальные задачи фундаментальных и прикладных исследований : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 20 нояб. 2018 г. - Оренбург: ОГУ, 2018. - С. 147-151.

38. Валеев, А.Ф. Анализ существующей системы добычи и сбора углеводородного сырья и оценка возможности применения новых технологий эксплуатации скважин Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Ф. Валеев // Сборник трудов 73-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2019». – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – С. 124-134.

39. Валеев, А.Ф. Методическое обеспечение научных исследований живучести системы добычи газа в условиях обводнения скважин // «Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеводородного сырья»: материалы всерос. науч.-практич. конф. – Оренбург, 2019. – С. 13-17.

40. Валеев, А.Ф. Модель и критерий живучести системы добычи газа в условиях обводнения // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы IX всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2019. – С. 411-414.

41. Валеев, А.Ф. Особенности интегрированной геолого-технологической модели Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Ф. Валеев, В.И. Кузнецов // материалы научно-практической конференции «Нефтегазовое производство - основа научно-технического прогресса и экономической стабильности». – Саратов: ООО «Амирит», 2020. – С. 45-51.

42. Михайлов, И.Д. Информационные технологии моделирования плунжерного лифта для увеличения живучести газовых скважин / И.Д. Михайлов, А.Ф. Валеев // Информационные технологии. радиоэлектроника. телекоммуникации, 2020. – № 8. – С. 293-296.

43. Валеев, А.Ф. Развитие модели живучести системы добычи газа в условиях обводнения / А.Ф. Валеев, Л.А. Белослудцева // Тезисы докладов 74-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2020», 2020. – С. 20-21, [Электронный ресурс] – Режим

доступа: [https://neftegaz.gubkin.ru/site/assets/files/4272/74ng\\_sbornik\\_tezisov\\_tom3.pdf](https://neftegaz.gubkin.ru/site/assets/files/4272/74ng_sbornik_tezisov_tom3.pdf).

44. Валеев, А.Ф. Автоматизированная информационная система подбора технологии эксплуатации обводненной газовой скважины / А. Ф. Валеев, Д. С. Василенко // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы X всерос. конф. – Оренбург: ОГУ, 2021. – С. 292-296.

45. Валеев, А.Ф. Программные компоненты системы моделирования добычи углеводородов с газлифтным способом эксплуатации / А. Ф. Валеев, А. Ш. Макаев // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы X всерос. конф. – Оренбург: ОГУ, 2021. – С. 297-300.

46. Валеев, А.Ф. Автоматизированная система моделирования обводненной газовой скважины концентрической лифтовой колонной / А.Ф. Валеев, В. Р. Шаховал // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы X всерос. конф. – Оренбург: ОГУ, 2021. – С. 301-305.

47. Валеев, А.Ф. Информационное и программное обеспечение автоматизированной системы научных исследований живучести системы добычи газа // Тезисы докладов 76-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2022», 2022. – С. 186-187, [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://neftegaz.gubkin.ru/site/assets/files/12070/tom\\_2\\_76-i\\_ng.pdf](https://neftegaz.gubkin.ru/site/assets/files/12070/tom_2_76-i_ng.pdf).

48. Валеев, А.Ф. Автоматизированная система научных исследований для повышения живучести системы добычи газа в условиях обводнения скважин // Сборник научных трудов XV Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса», 2022. – С. 248-257, [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://neftegaz.gubkin.ru/site/assets/files/12070/aktual\\_nye\\_problemy\\_razvitiia\\_neftegazovogo\\_kompleksa\\_rossii\\_sbor.pdf](https://neftegaz.gubkin.ru/site/assets/files/12070/aktual_nye_problemy_razvitiia_neftegazovogo_kompleksa_rossii_sbor.pdf).

49. Валеев, А.Ф. Автоматизация процессов научных исследований живучести объектов добычи газа // Тезисы докладов конференции ООО «Газпром ВНИИГАЗ» «Современные методы комплексного моделирования разработки газовых и нефтегазоконденсатных месторождений», 2022. – С. 25, [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49545554&pff=1>.

50. Валеев, А.Ф. Автоматизация научных исследований живучести объектов добычи газа НГКМ // Тезисы докладов XI Молодежной международной научно-практической конференции «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность», 2023. – С. 98, [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/7d/893/tezisy-molodezhka\\_2023-v05.pdf](https://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/7d/893/tezisy-molodezhka_2023-v05.pdf).

51. Соловьев, Н.А. Автоматизация процессов научных исследований живучести объектов добычи газа в условиях обводнения / Н.А. Соловьев, А.Ф. Валеев // Современные научно-исследовательские и технологические аспекты программной инженерии: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 156-163, [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61743344&pff=1>.

Подписано в печать 15.12.2025 г. Формат 60 x 90 / 16

Тираж 120 экз.

Отпечатано в печатном салоне «Призма»

г. Оренбург, ул. Терешковой, 10/3