

На правах рукописи

Пантелеев Александр Сергеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**

Специальность: 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством
продукции

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в Российском государственном университете (национальный исследовательский университет) нефти и газа имени И.М. Губкина

Научный руководитель

Кершенбаум Всеволод Яковлевич,
заслуженный деятель науки Российской Федерации,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Стандартизации,
сертификации и управления качеством
производства нефтегазового оборудования»
ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.
Губкина».

Официальные оппоненты:

Горленко Олег Александрович,
заслуженный деятель науки Российской Федерации,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Управление качеством,
стандартизация и метрология»
ФГБОУ ВО «Брянский государственный
технический университет».

Головин Дмитрий Леонидович,
кандидат технических наук, доцент кафедры 104
«Технологического проектирования и управления
качеством» ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный исследовательский
университет)».

Ведущая организация

ОАО НПО «БУРОВАЯ ТЕХНИКА» – ВНИИБТ

Защита состоится 23 декабря 2016 года в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 212.200.16 при Российском государственном университете (НИУ) нефти и газа имени И.М. Губкина по адресу: Ленинский проспект, 65, ГСП-1, Москва, 119991.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

Автореферат разослан _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



Т.А. Чернова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Нефтегазовый комплекс России характеризуется необходимостью функционирования большого числа сложных и разнообразных по назначению систем. Эти системы можно классифицировать как сложные технические, сложные технологические и сложные химико-технологические. Наиболее характерным представителем сложных систем нефтегазовой отрасли является процесс бурения нефтяных и газовых скважин, относящийся к сложным нетрадиционным химико-технологическим системам, с наиболее важной и активной подсистемой «буровой раствор», которая взаимодействует с разбуриваемыми породами, пластовыми водами, подвергается воздействию механических нагрузок, температуры, давления, атмосферного воздуха, осадков.

Буровой раствор, как подсистема сложной нетрадиционной химико-технологической системы (ХТС), участвует во всех операциях этой системы. Это дает основание полагать, что управляя качеством наиболее активной из подсистем (в данном случае буровым раствором), можно добиться улучшения качества функционирования всей системы в целом (в данном случае улучшения качества бурения и уменьшения вероятности осложнений).

Бурение скважин всегда было и остается чрезвычайно капиталоемким процессом. По этой причине поиск резервов повышения эффективности буровых работ – важнейшая задача, которая в связи с кризисными явлениями в экономике России стала еще более актуальной.

Собственно бурение скважин, как известно, заключается в разрушении горных пород на забое, удалении продуктов разрушения с забоя на поверхность, спуске и подъеме бурового снаряда.

Самый распространенный способ удаления продуктов разрушения – гидравлический, который осуществляется путем принудительной циркуляции в скважине бурового раствора (далее БР). В мировой практике 90 % всего объема

буровых работ выполняется с использованием буровых растворов на водной основе.

Многообразие условий бурения в сочетании с экономической целесообразностью не позволяют создать в ближайшее время универсальный буровой раствор. Использование раствора, в наибольшей степени отвечающего по свойствам геолого-техническим условиям бурения, является основным фактором эффективного ведения этого процесса. Однако роль бурового раствора не сводится только к удалению из скважины разрушенной породы. Как среда, в которой протекают практически все процессы, связанные с бурением скважин, БР во многом определяет степень использования потенциальных возможностей и ресурсы работы бурового оборудования и инструмента, механическую скорость бурения, вероятность возникновения различного рода осложнений (нарушений устойчивости горных пород в околоствольном пространстве скважин, поглощений, флюидопроявлений и т.д.), качество вскрытия продуктивных пластов, качество геологической и геофизической информации, затраты всех видов ресурсов и др. Несомненно, что повышение качества бурового раствора является мощным резервом дальнейшего роста эффективности буровых работ.

Осознание необходимости повышения качества бурового раствора наступило не сегодня. Достаточно сказать, что к настоящему времени опубликовано большое число работ, посвященных этой проблеме, наибольший вклад в решение которой внесли Аветисов А.Г., Аветисян Н.Г., Агабальянц Э.Г., Ангелопуло О.К., Балаба В.И., Баранов В.С., Белкин О.К., Булатов А.И., Войтенко В.С., Гайдуков Ю.И., Глебов В.А., Городнов В.Д., Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г., Дедусенко Г.Я., Демихов В.И., Евецкий В.А., Есьман Б.И., Жигач К.Ф., Жуховицкий С.Ю., Зарипов С.З., Иванников В.И., Ивачев Л.М., Кистер Э.Г., Конесев Г.В., Косаревич И.В., Круглицкий Н.Н., Крысин Н.И., Кудряшов Б.Б., Леонов Е.Г., Липкес М.И., Литяева З.А., Мавлютов М.Р., Маковой Н., Мамаджанов У.Д., Марамзин А.В., Мариампольский Н.А., Мирзаджанзаде А.Х., Михеев В.Л., Мойса Ю.Н., Паус К.Ф., Пеньков А.И., Проселков Ю.М., Ребиндер П.А., Резниченко И.Н., Ржепка А.В., Роджерс В.Ф., Рябченко В.И.,

Рязанов Я.А., Сидоров Н.А., Фигурак А.А., Филатов Б.С., Чубик П.С., Шарипов А.У., Шептала Н.Е., Шищенко Р.И., Щеголевский Л.И., Яковлев А.М., и др.

В современных условиях задача управления качеством буровых растворов состоит в том, чтобы в соответствии с горно-геологическими условиями и гидравлической программой бурения осуществлять обоснованный подбор БР и поддерживать их требуемые структурно-реологические, фильтрационные свойства при минимальном содержании твердой фазы и заданном уровне ингибирования, термосолестойкости и осмотической активности.

Указанные условия существенно осложняют решение проблем, связанных с повышением качества буровых растворов. Возможность успешного решения этих проблем сдерживается и отсутствием необходимого научно-методического, приборного и программного обеспечения.

Проблемы качества БР достаточно сложны и требуют решения многих теоретических, опытно-конструкторских и экспериментальных задач, а также проверки полученных данных в промысловых условиях.

В связи с этим, предлагается рассмотреть буровой раствор как важнейшую часть (подсистему) сложной нетрадиционной химико-технологической системы; именно этим определяется значительное внимание к формированию структуры, свойств и компонентного состава бурового раствора. С этой позиции необходима разработка оригинальных методик и алгоритмов проектирования и управления качеством состава бурового раствора, в том числе с использованием современных информационных технологий.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей диссертации является разработка методических подходов и алгоритма управления качеством сложных нетрадиционных химико-технологических систем (СНХТС), на примере процесса бурения (где БР – ответственная подсистема СНХТС), что повлекло за собой необходимость создания математической модели по подбору состава БР, которая в сочетании с анализом и учетом важнейших экзогенных факторов способствует

снижению аварийности процесса бурения, что в конечном итоге свидетельствует о достигнутой возможности управления качеством СНХТС.

В диссертации поставлены следующие **исследовательские задачи**, (важность некоторых из них отмечалась еще в работах проф. Овчинникова В.П.):

- исследовать работы по управлению качеством сложных систем;
- выявить основные аспекты в управлении качеством БР как части сложных систем;
- изучить взаимодействие бурового раствора с горно-геологической подсистемой. Проанализировать документацию по стандартизации документацию в этой области (стандарты зарубежные и отечественные, РД, ТУ и т.д.);
- показать основные этапы и особенности формирования состава бурового раствора относительно интервала бурения;
- сформулировать понятие «качество бурового раствора»;
- собрать и обработать данные по использованию буровых растворов на различных месторождениях;
- создать на основе полученных сведений Базы Данных (БД), для последующего ее перевода в Базу Знаний (БЗ);
- исследовать и модифицировать экспертные системы и производственные модели для использования их в решении задачи управления качеством многокомпонентной и многокритериальной системы;
- сформировать, на основе проанализированных данных, алгоритм управления качеством буровых растворов (УКБР);
- создать методики по УКБР (на основании разработанного алгоритма);
- разработать программное обеспечение.

Объектом исследования является буровой раствор (как подсистема сложной нетрадиционной ХТС).

Предметом исследования является система управления качеством буровых растворов.

Теоретические и методологические основы исследования. Научная методология настоящей работы основывается на экспертном подходе к изучаемой

проблеме, а также комплексном рассмотрении различных методик и методов управления качеством буровых растворов, с учетом возможности их применения для обеспечения эффективного бурения. Методологической базой послужили труды отечественных и зарубежных ученых по вопросам управления качеством и совершенствования буровых растворов.

Поставленные задачи решались с использованием комплекса методов, включающего в себя методы эмпирического уровня (сравнение, измерение, метод проб и ошибок), методы экспериментально-теоретического уровня (эксперимент, в том числе активный; анализ и синтез, аналогия и моделирование, гипотетический и логический методы), методы теоретического уровня (абстрагирование, формализация, анализ и синтез, обобщение), метод функционального моделирования IDEF-0, метод анализа рисков, FMEA-анализ и методы метатеоретического уровня (системный анализ).

Обработка экспериментальных данных, а также их статистический и корреляционно-регрессионный анализ осуществлялись с помощью ПЭВМ с использованием пакета стандартных и разработанных автором программ.

Научная новизна заключается в разработке механизма управления качеством сложных многофункциональных нетрадиционных химико-технологических систем с помощью формирования множественных критериев, методов экспертных оценок и построения базы знаний, что в свою очередь позволило осуществить формализацию и создать, в качестве примера, методику выбора типа и компонентного состава бурового раствора, способствующего снижению вероятности осложнений и обеспечению качественного бурения на эффективных скоростях.

Положения, выносимые на защиту:

1 Разработка классификаций геологических разрезов и горных пород, функций, свойств и параметров бурового раствора.

2 Создание алгоритма выбора типа, компонентного состава и показателей качества бурового раствора с позиции обеспечения качественного и безаварийного бурения при эффективных скоростях.

3 Формирование системы правил на основе производственной модели.

4 Целенаправленное повышение качества бурового раствора основанного на создании Базы Знаний и регулярном пополнении Базы Данных техническими характеристиками буровых растворов, а также на постоянном совершенствовании значений показателей свойств и создании автоматизированных систем, обеспечивающих оперативный выбор из банка данных буровых растворов с такими техническими характеристиками, которые максимально удовлетворяют требованиям заданного интервала бурения в зависимости от горной породы и параметров бурения.

5 Формирование методики оперативного управления качеством бурового раствора с помощью введения химических реагентов при изменении экзогенных факторов.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных результатов и выводов настоящей работы подтверждается результатами анализа значительного по своему объему информационного массива зарубежных и отечественных нормативных документов, научно-технических отчетов российского и иностранного происхождения, периодической литературы в сопоставлении с данными собственных экспериментальных и аналитических исследований и расчетов.

Достоверность обеспечивается внутренней непротиворечивостью результатов исследований, их соответствием теоретическим положениям статистики и их практической реализацией.

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и получили положительную оценку на пяти всероссийских и международных технических конференциях:

1 «67-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2013», Москва; 9-12 апреля 2013 г.

2 IV Российская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы нефтегазового строительства», Москва; декабрь 2014 г.

3 «68-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ - 2013», Москва; апрель 2014 г.

4 VII Международный молодежный научно-практический конгресс «Oil and Gas Horizons 2015», Москва; ноябрь 2015 г.

5 «69-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2015», Москва; апрель 2015 г.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Результаты настоящего исследования способствуют развитию теории и практики управления качеством в области сложных нетрадиционных химико-технологических систем.

Разработанный алгоритм системы управления качеством буровых растворов и созданная база данных для этой системы нашли непосредственное практическое воплощение в национальном стандарте ГОСТ Р 56946-2016 (ИСО 13500:2008) «Нефтяная и газовая промышленность. Материалы буровых растворов. Технические условия и испытания», сформированном при участии диссертанта.

Разработана компьютерная программа «Проектирование бурового раствора», позволяющая с достаточно высокой степенью точности определять состав необходимого бурового раствора для заданного интервала бурения. Получено авторское свидетельство.

Публикации. По проблемам, рассматриваемым в диссертационном исследовании, автором опубликовано 7 работ в различных сборниках научных трудов и периодических изданиях, в том числе 4 публикации в изданиях реестра ВАК РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов по работе, заключения, библиографического списка, включающего 142 источника и 4 приложений. Общий объем работы составляет 157 страницы, в том числе 22 рисунка и 11 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, заключающаяся в том, что НГК России характеризуется необходимостью функционирования большого числа сложных систем, управление качеством и совершенствование которых является одной из важнейших проблем в условиях санкционного кризиса. Дан обзор степени разработанности исследуемой темы, сформулирована цель работы и поставлены задачи исследований, перечислены основные положения, выносимые автором на защиту, указана новизна полученных результатов и практическая значимость, а также методы исследования, использованные в работе.

В первой главе диссертационной работы проводится анализ современных методов управления качеством буровых растворов, а также рассматривается опыт решения проблем управления качеством буровых растворов, с выводами по каждой позиции.

Рассматриваются основные виды сложных систем, проводится обзор научных работ отечественных и иностранных авторов в области управления качеством сложных систем.

Подробно рассмотрена и доказана теория принадлежности бурового раствора к сложным системам, в частности буровой раствор рассматривается как подсистема сложной нетрадиционной химико-технологической системы.

На основании проанализированных научно-технических данных, опыта передовых бурильщиков, а также полученных сведений с более чем 200 пробуренных и действующих скважин в различных регионах России – были модифицированы и составлены классификации буровых растворов и горных геологических пород, необходимые для управления качеством буровых растворов.

В настоящее время нет устоявшейся точки зрения на понятие «качество бурового раствора». Нам представляется, что формулировка «качество бурового раствора» в работах профессора Пенькова А.И., Овчинникова В.П., Аксеновой Н.А. в наибольшей степени отражают суть этого понятия. Качество – это

совокупность характеристик продукции (в данном случае показателей свойств бурового раствора), обуславливающих его пригодность удовлетворять установленные и предполагаемые потребности.

Анализируя все определения термина «качество», а также учитывая новую версию ISO 9000:2015, где сказано, что «качество – степень, с которой совокупность присущих характеристик объекта соответствует требованиям», дадим собственное определение качеству бурового раствора.

Качество бурового раствора – степень соответствия присущих характеристик объекта (в нашем случае это свойства БР) требованиям (в данном случае это функции которые должен выполнять БР).

Многокомпонентность, многофункциональность, параметрическая сложность и многообразие геолого-технических условий бурения делают буровой раствор чрезвычайно сложной системой.

Таким образом, в данном случае подход к достижению технократических целей: бурить быстрее, лучше, дешевле – имеет общий знаменатель – повышение качества бурового раствора.

К сожалению, при всей важности этой задачи многие предпосылки для хотя бы удовлетворительного ее решения пока отсутствуют. О качестве буровых растворах до сих пор судят по весьма ограниченному числу показателей: плотности, условной вязкости, показателю фильтрации, статическому напряжению сдвига и рН. При этом значения этих показателей нередко мало отличаются друг от друга. В таких ситуациях не остается ничего другого, кроме как выбирать самый дешевый состав без какой-либо уверенности в том, что в процессе бурения удастся избежать проблем.

В результате данная область знания развивается преимущественно экстенсивно, т.е. через лавинообразное увеличение числа предлагаемых к использованию компонентных и долевых составов буровых растворов, а не через целенаправленное повышение их качества на основе эффективного использования имеющихся материальных ресурсов.

Используя принцип системного подхода, БР следует рассматривать как неотъемлемую часть сложной системы, которая в упрощенном виде выглядит следующим образом – «БР – скважина – технологическое оборудование» (далее система БРСТО). Как известно, сложная система состоит из подсистем, закономерно объединенных в соответствии с определенными принципами или связанных между собой заданными отношениями. Например, удаление и транспортирование с забоя выбуренных частиц (шлама) во многом зависит как от БР, так и от буровых насосов на поверхности.

Система БРСТО имеет признаки технической, технологической и химико-технологической систем, но при этом не имеет 100 % схожести ни с одной из них. Принадлежность нашей системы к «Сложной нетрадиционной химико-технологической системе» означает, что она обладает всеми признаками химико-технологической системы, но еще осложнена меняющейся во времени частью – скважиной (рисунок 1). Соответственно, для улучшения качества бурения (эффективности бурения) следует использовать методы управления применимые для ХТС.

Проведя анализ общих основ оптимизации ХТС с учетом того, что система БРСТО является нетрадиционной ХТС, со специфической особенностью – изменяющейся во времени подсистемой (скважиной), стоит обратить внимание и на все остальные подсистемы и выделить из них общий фактор, которым можно управлять в целях обеспечения качественного и безаварийного бурения. Одним из таких факторов является БР (как одна из подсистем). БР участвует во всех подсистемах как по прямому назначению, так и косвенно (очистка БР). Соответственно БР как объект управления обладает определенными степенями свободы и, следовательно, им можно управлять.

Таким образом, можно сделать вывод, что в системе БРСТО буровой раствор помимо того, что является подсистемой, также является элементом, который участвует во всех операциях этой системы. Это наводит на мысль о том, что управляя качеством БР и его проектированием, можно добиться улучшения качества бурения и уменьшения аварийности.

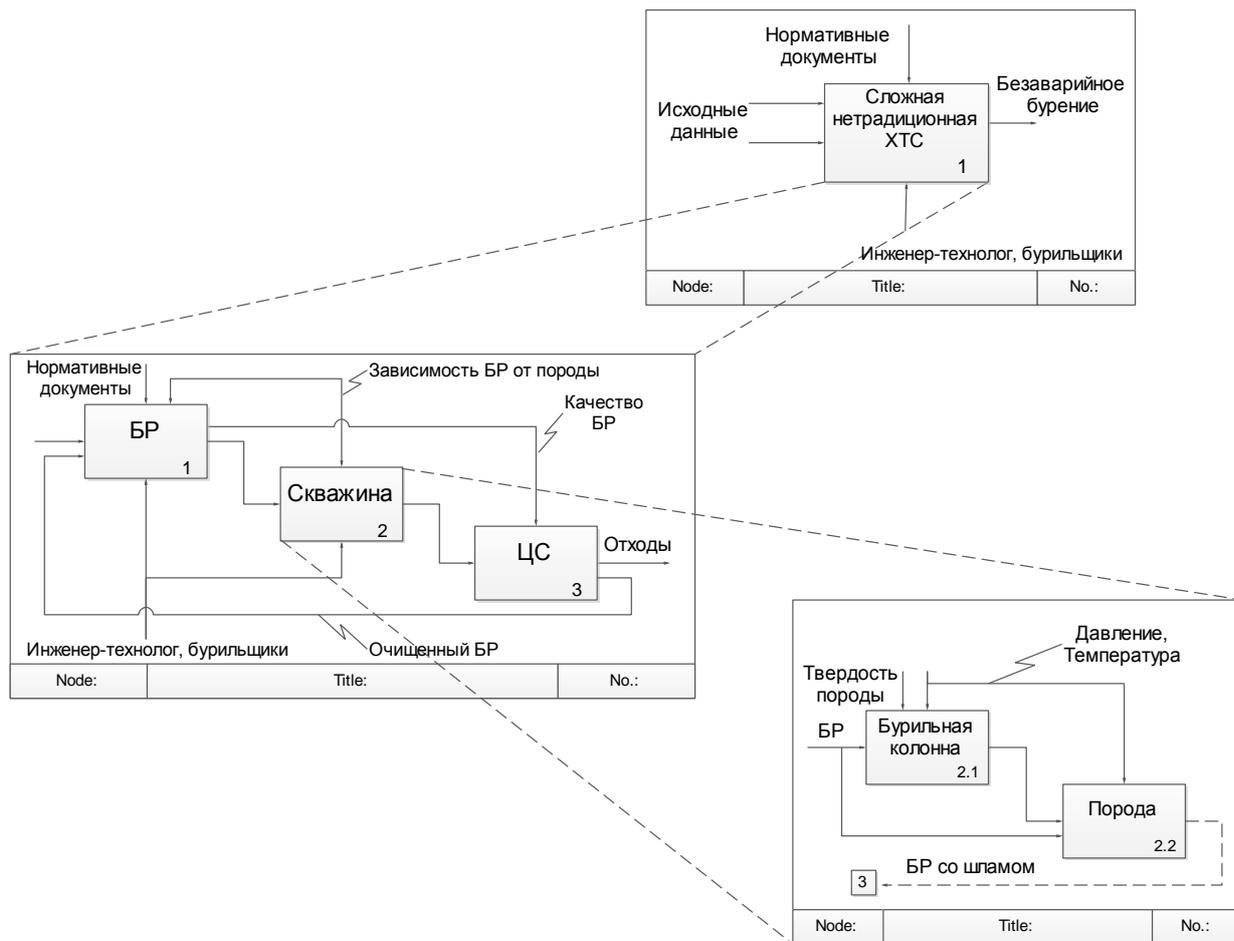


Рисунок 1 – Схема декомпозиции сложной нетрадиционной ХТС – «БРСТО»

БР – буровой раствор

ЦС – циркуляционная система

БРСТО – «Буровой раствор – скважина – технологическое оборудование»

Таким образом, можно построить общий алгоритм работы, руководствуясь общими принципами IDEF-0 и кибернетики. Основные стадии исследования изображены на рисунке 2 и рисунке 3.

Блок А0 выполняет роль черного ящика, то есть при постановке задачи известны входные параметры, параметры внешнего воздействия, управляющие параметры, ресурсы. Также существует определенность относительно того, что необходимо получить на выходе, однако сама математическая модель для решения данной проблемы остается невыясненной.



Рисунок 2 – Ключевой подход к вопросу исследования

Декомпозируя блок А0, можно представить упрощенный алгоритм модели.

Из блок-схемы видно, что необходимым требованием к качественному БР становится его способность обеспечивать безаварийное бурение, эффективную проходку и надлежащее вскрытие пласта.

Все три блока А2, А3, А4 тесно связаны с блоками А2.1, А3.1, А4.1, то есть с добавлением химических реагентов, введение которых зависит от геологических сведений и анализа аварийности (возможных осложнений) на данном интервале бурения.

На следующей стадии – блок А5 – необходимо, чтобы БР выполнял требуемые функции с учетом всех введенных химических реагентов, так как наличие некоторых реагентов может уменьшить вероятность осложнений на рассматриваемом интервале бурения, но при этом ухудшить определенные свойства БР. Результатом реализации блока А5 является тип БР с необходимыми для предотвращения осложнений химическими реагентами для конкретного интервала бурения. Далее вся исходная информация попадает в БД, затем – в Базу Знаний, представляющей собой платформу для создания Программного Обеспечения.

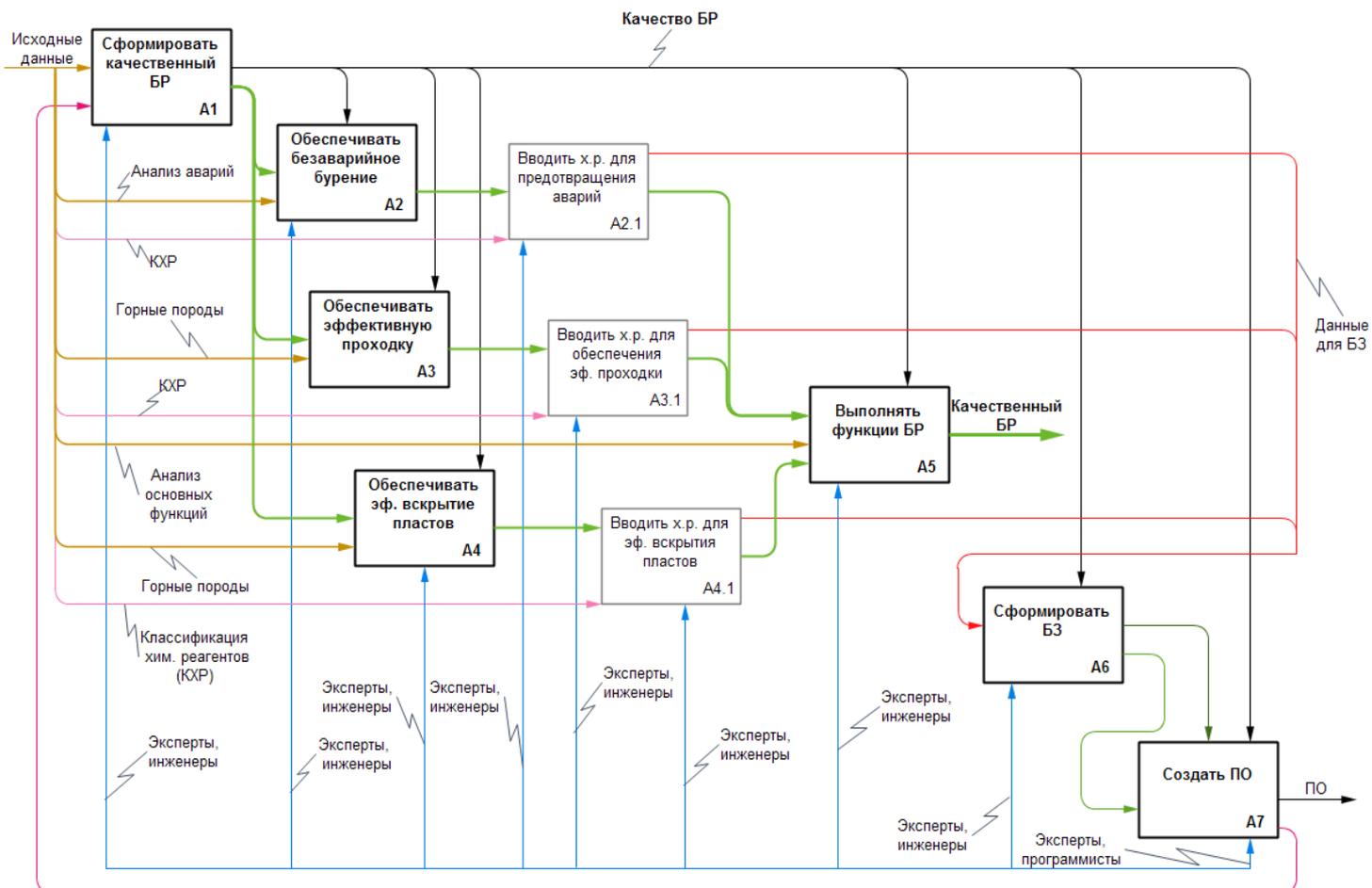


Рисунок 3 – Основные стадии работы

Таким образом, в первой главе определена общая структура работы, сформирован ключевой подход к вопросу исследования управления качеством буровых растворов на базе IDEF-0 и кибернетики. Сформулировано новое понятие сложной нетрадиционной химико-технологической системы. Даны теоретические обоснования того, что буровой раствор является подсистемой сложной нетрадиционной ХТС.

Во второй главе представлены результаты анализа химических реагентов для буровых растворов и их роль в безаварийности бурения.

Химическая обработка бурового раствора имеет важнейшее значение в технологии его приготовления и применения. От правильного выбора материалов и реагентов для приготовления бурового раствора в значительной степени зависит успех и качество строительства скважин.

Как и сами буровые растворы, химические реагенты также имеют различные классификации. Проведя научно-исследовательский анализ, все известные химические реагенты для буровых растворов были обобщены в восемь основных групп по общему действующему веществу и схожему составу, а по назначению (действию на свойства буровых растворов) все химические реагенты было принято условно разделить на 12 групп.

Выявлена и показана взаимосвязь химических реагентов и их способность влиять на свойства бурового раствора, продемонстрирована степень влияния той или иной группы реагентов.

Изучена и показана взаимосвязь функций бурового раствора, свойств, соответствующих этим функциям, а также влияние ввода химических реагентов на те или иные свойства. Показано, что избыточное или недостаточное введение химического реагента, может в корне изменить способность применяемого бурового раствора выполнять определенную функцию, что, естественно, скажется на качестве бурения. Данную взаимосвязь необходимо учитывать при формировании базы данных, чтобы учесть возможность возникновения осложнений и проявлять осторожность при введении в БР отдельных химических элементов.

Из-за явлений горно-геологического характера в процессе бурения и испытаний нефтяных и газовых скважин возникают нарушения технологического процесса, называемые осложнениями. Наиболее распространенные осложнения – поглощения буровых и тампонажных растворов, нефтегазоводопроявления, выбросы пластовых флюидов с буровым раствором, прихваты бурильных и обсадных колонн, осыпи и обвалы горных пород. В проектах на строительство буровых скважин предусматривают возможности и условия появления осложнений, разрабатывают мероприятия по их предотвращению и ликвидации. Однако эти расчеты не всегда основаны на точной информации о горно-геологических условиях бурения. Основной причиной возникновения аварий и осложнений является нарушение параметров бурения буровой бригадой,

несоблюдение инструкций и требований проектных документов, в том числе нарушение состава и параметров БР.

Анализ распределения аварий по видам (данные получены с нефтегазовых месторождений Тюменской области), показывает, что наиболее часто возникают прихваты бурильных и обсадных колонн (35 – 45% общего числа аварий) (таблица 1). По нашей оценке, главной причиной роста этого вида аварий является недостаточная профессиональная подготовленность значительной части буровых мастеров, технологов и бурильщиков, а также неправильный подбор БР и несвоевременное или полное игнорирование введения реагентов для предотвращения аварии.

Следует отметить, что своевременное и правильное введение химических реагентов в буровой раствор, позволило бы существенно снизить вероятность возникновения, а в некоторых случаях и предотвратить осложнения и последующие аварии.

Таблица 1 – Распределение аварий и осложнений по видам (месторождения Тюменской области)

Номер п/п	Виды аварий	2000 – 2005 гг.		2006 – 2012 гг.	
		Количество аварий	Процентное соотношение, %	Количество аварий	Процентное соотношение, %
1.	Прихват бурильных и обсадных колонн	920	35,1	1430	45
2.	Аварии с обсадными колоннами	800	30,5	835	26,3

Продолжение таблицы 1

мер п/п	Виды аварий	Количество аварий	Процентное соотношение, %	Количество аварий	Процентное соотношение, %
3.	Аварии с элементами бурильной колонны	390	14,9	285	9,0
4.	Прочие аварии	270	10,3	240	7,6
5.	Аварии с забойными двигателями	165	6,3	175	5,5
6.	Аварии с долотами	65	2,5	85	2,7
7.	Аварии из-за неудачного цементирования	–	–	65	2,0
8.	Падение в скважину	10	0,4	60	1,9
	Всего аварий	3144		3175	

Анализ химических реагентов для буровых растворов позволил выявить взаимосвязь возникающих осложнений в бурении и связанных с ними химическими реагентами. Добавление химических реагентов может предотвратить возникновение этих осложнений. На базе этого анализа была составлена схема (рисунок 4) состоящая из четырех основных групп осложнений, которые можно предотвратить введением в буровой раствор химических реагентов.

Для упрощения и уменьшения размеров, схема была преобразована в матрицу взаимосвязи химических реагентов и осложнений. Приведем небольшой фрагмент из этой матрицы (таблица 2).

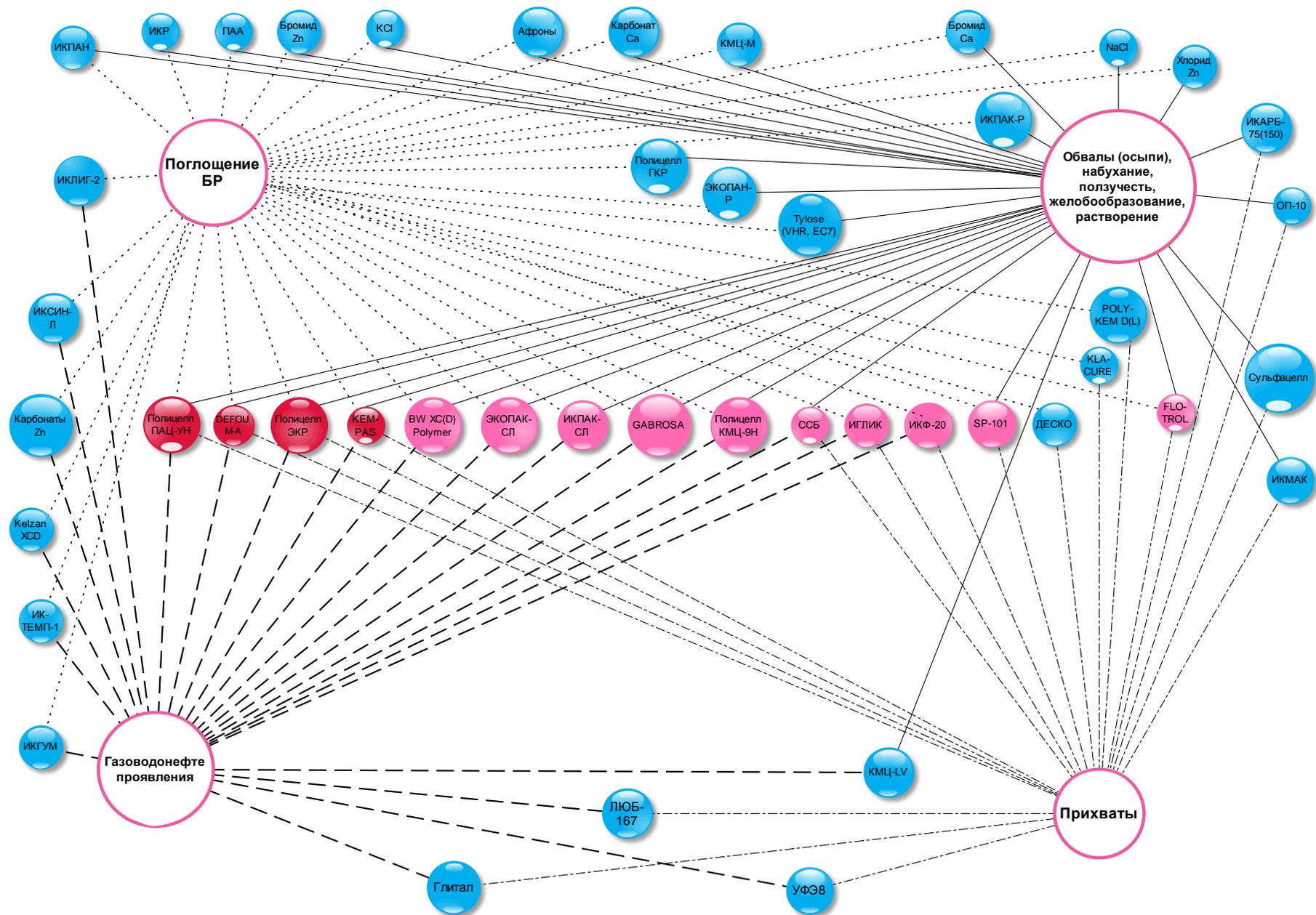


Рисунок 4 – Взаимосвязь осложнений и химических реагентов

Таблица 2 – Матрица взаимосвязи химических реагентов и осложнений

Тип хим. реагента	Виды осложнений			
	Поглощение БР	Обвалы (осыпи), набухание, ползучесть, растворение	Газо- водо- нефте- проявления	Прихваты
Полицелл ПАЦ-УН	✓	✓	✓	✓
DEFOU M-A	✓	✓	✓	✓
ЭКОПАК-СЛ	✓	✓	✓	
ИКПАК-СЛ	✓	✓	✓	
GABROSA	✓	✓	✓	
Полицелл КМЦ-9Н	✓	✓	✓	
ССБ		✓	✓	✓
ИГЛИК	✓		✓	✓
ИКГУМ	✓		✓	
ИК-ТЕМП-1	✓		✓	
Карбонаты Zn	✓		✓	
ИКСИН-Л	✓		✓	
ИКЛИГ-2	✓		✓	
Kelzan XCD	✓		✓	
Глитал			✓	✓
ЛЮБ-167			✓	✓
УФЭ8			✓	✓
КМЦ-LV			✓	✓

Для определения концентрации химических реагентов в рамках системы управления качеством используется план типа 2^к. Проводится полный факторный эксперимент, проверяется однородность, определяется доверительный интервал. Факторами модели являются химические реагенты, а уровнями варьирования – их концентрации. Адекватность модели проверялась по критерию Фишера.

Таким образом, во второй главе исследования разработана схема взаимосвязи между группами вероятных осложнений и видами применяемых

химических реагентов, что позволяет путем ее анализа предотвратить аварийную ситуацию, обусловленную возможностью возникновения одного или сочетания нескольких типов осложнений. Установлено, что для каждого интервала бурения целесообразно учитывать вероятность возникновения осложнений, обусловленных особенностями горно-геологических пород, что нашло отражение в формировании базы данных для базы знаний «Проектирование бурового раствора».

Результаты анализа данных по авариям и осложнениям по наиболее часто встречающимся видам (поглощения БР, обвалы (осыпи), набухание, ползучесть, растворение, газоводонефтепроявления и прихваты), полученных за 2014-2015 гг. свидетельствуют о том, что использование рекомендаций настоящей работы по введению химических реагентов в БР позволило снизить этот показатель на 24%.

В третьей главе отмечено, что в нефтегазовом комплексе, в котором значительна неопределенность природного характера, большую роль играет возможность формализации знаний специалистов-экспертов, Эксперты в условиях отсутствия математических моделей являются носителями опыта, знаний. Таким образом, выявлена структура и содержание элементов БЗ «Проектирование буровых растворов».

Буровой раствор (БР) представляет собой многокомпонентную систему с весьма широким диапазоном вариаций, как качественных, так и количественных показателей состава в зависимости от ряда экзогенных факторов (давление, температура, глубина бурения, горная порода и др.).

Выбор компонентного состава, определяющего в свою очередь свойства и функциональное назначение БР, представляет собой многокритериальную задачу (в ряде случаев критерии взаимозависимы), сложность решения которой хорошо известна.

Особенность рассматриваемой задачи состоит в высоком уровне неопределенности исходных данных и зависимостей. На практике при решении выбора состава бурового раствора для эффективного управления процессом бурения специалисты опираются на имеющийся опыт, на сходство

рассматриваемой задачи с аналогичными, с теми, которые встречались ранее. Из сходства условий делается вывод об аналогичности решений. Принимая во внимание высокий уровень неопределенности, решения по выбору состава бурового раствора не являются единственными. Поэтому для формализации процесса принятия решений предпочтительно применение технологий искусственного интеллекта. В этой связи в настоящей работе предпринята попытка использования экспертной информации с построением соответствующих баз данных (БД) и баз знаний (БЗ). Для отработки методики формирования БЗ была построена БД, содержащая классификацию БР, горно-геологических пород, данных и параметров этих пород, информацию о функциях, свойствах, составах, реагентах БР и взаимодействии друг с другом. В БД приведены возможные осложнения и способы их ликвидации и дальнейшего предотвращения. В основу БД была положена информация (полученная автором) по проводке скважин в Томской области, а также информация, полученная из опубликованных источников научно-технической литературы других авторов.

Модели знаний, на использовании которых строятся базы знаний весьма разнообразны: продукционные системы, фреймы, семантические сети, логика предикатов, нечеткая логика. В данной работе используется продукционная модель, в которой процедуры представляют собой набор правил типа *ЕСЛИ (условие), ТО (действие)*.

В таблице 3 представлен пример условной части и части «действие» для продукционного правила. При этом аргументы (факторы) входящие в условную часть, могут быть объединены логической операцией «И» (обозначается запятой) или логической операцией «ИЛИ». Учитывая, что для значения переменных X_6 и X_{26} возможны альтернативные значения, то значения функции («действие») альтернативны (строка ТО в таблице 3).

Таким образом, когда X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 принимают определенные значения, указанные в таблице 1, то X_6 может принимать несколько значений, в данном случае типов бурового раствора. При этом функция $F(X_6)$, основанная на опыте и

знаниях эксперта, покажет насколько эффективен будет выбор того или иного раствора относительно заданных исходных параметров.

Функция $F(X_6)$ может давать три основных оценки: оценка «отлично» – означает, что БР удовлетворяет требованиям качественного бурения, уменьшает вероятность возникновения осложнения и является безопасным и экологичным для окружающей среды; оценка «хорошо» означает, что БР удовлетворяет требованиям качественного бурения, уменьшает вероятность возникновения осложнения (но не является безопасным и экологичным для окружающей среды); оценка «удовлетворительно» означает, что БР удовлетворяет требованиям качественного бурения (но при этом не уменьшает вероятность возникновения осложнения и является не безопасным и экологичным для окружающей среды).

Таблица 3 – Пример «математической» записи правила для БД

	Породы	X_i	Параметры	Породы	X_{2i}	Параметры
ЕСЛИ	Глинистые часть 1	X_1	$\leq 1,7 \text{ г/см}^3$ {плотность гл. Породы}	Глинистые часть 2	X_{21}	$\leq 1,71-1,8 \text{ г/см}^3$ {плотность гл. Породы}
		X_2	$< 400 \text{ м}$ {глубина}		X_{22}	$< 700 \text{ м}$ {глубина}
		X_3	$> 30\%$ {коэф. пористости}		X_{23}	$> 30\%$ {коэф. пористости}
		X_4	$< 5 \text{ г/л}$ {минерализация поровой воды}		X_{24}	$< 5 \text{ г/л}$ {минерализация поровой воды}
		X_5	> 44 {объемная емкость, мг экв. на 100г}		X_{25}	> 44 {объемная емкость, мг экв. на 100г}
ТО		X_6	БР {вид 1. Тип 2.2.2; 2.2.4; 2.2.6}		X_{26}	БР {вид 1. Тип 2.2.2; 2.2.4; 2.2.6}
		$F(X_6)=F_1$	{ F_1 – отлично F_2 – хорошо F_3 – удовл-но}		$F(X_6)=F_3$	{ F_1 – отлично F_2 – хорошо F_3 – удовл-но}

Правила являются основой БЗ, структура которой представляется в виде типа «И/ИЛИ». Такого вида граф часто называют графом предметной области. В рассматриваемом случае данные формируются в граф «проектирование БР» (рисунки 5, 6). Так как правила состоят из условной и заключительной частей, а условная часть связана логической функцией «И» или «ИЛИ», то любое правило можно представить графом, где на нижнем уровне расположены «узлы-условия», а на верхнем уровне – «узел-заключение». Механизм логического вывода – это стратегия поиска решения на графе логического вывода (механизм выбора соответствующего правила из конфликтного набора). Конфликтный набор – множество правил, которые могут быть применены на конкретном этапе логического вывода. Классический алгоритм работы с графом предметной области при работе ЭС состоит в поиске совпадения условий цели с условной частью правил БЗ. Поиск производится по стратегии «сверху-вниз» и «слева – направо».

Таким образом, разработанная стратегия формирования Базы Знаний буровых растворов позволяет предложить общие принципы проектирования буровых растворов и методику их диагностирования. Разработанная методика проектирования базы знаний «Проектирование бурового раствора», созданная на основе продукционной модели, позволяет осуществлять оптимальный подбор компонентов раствора в соответствии с параметрами горных пород (а также с учетом давления, температуры) и интервалами бурения.

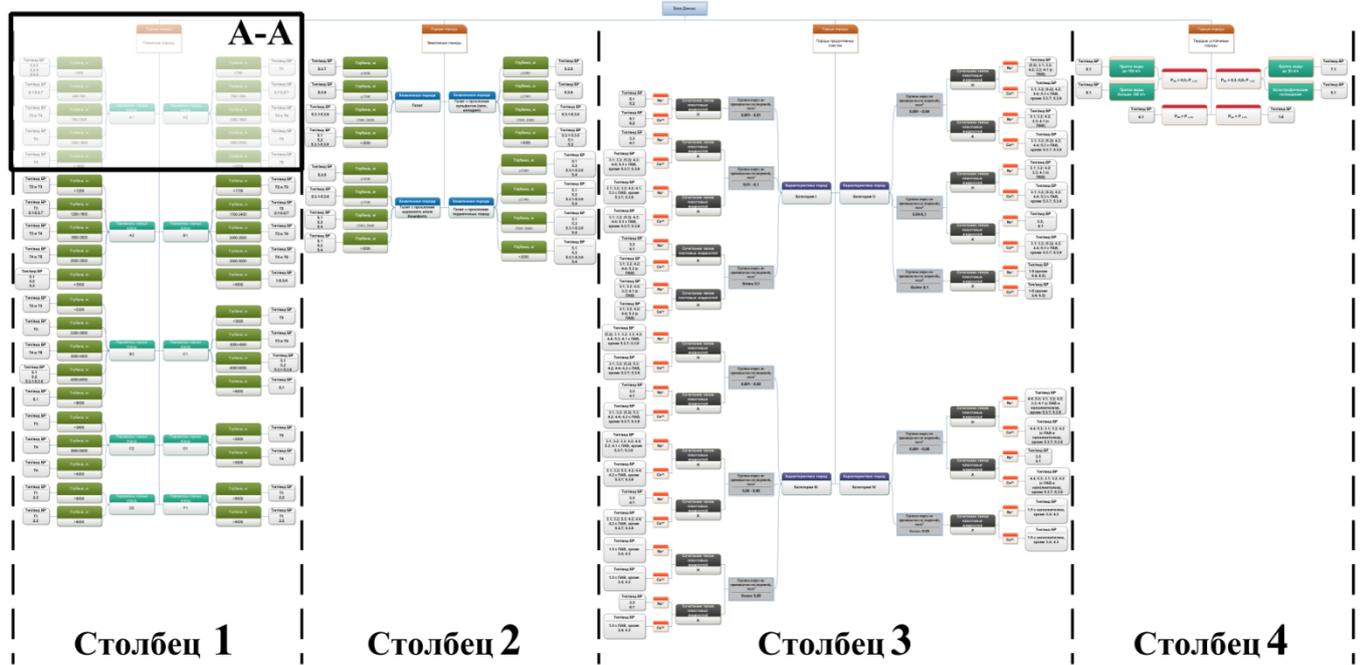


Рисунок 5 – Граф «Проектирование БР»

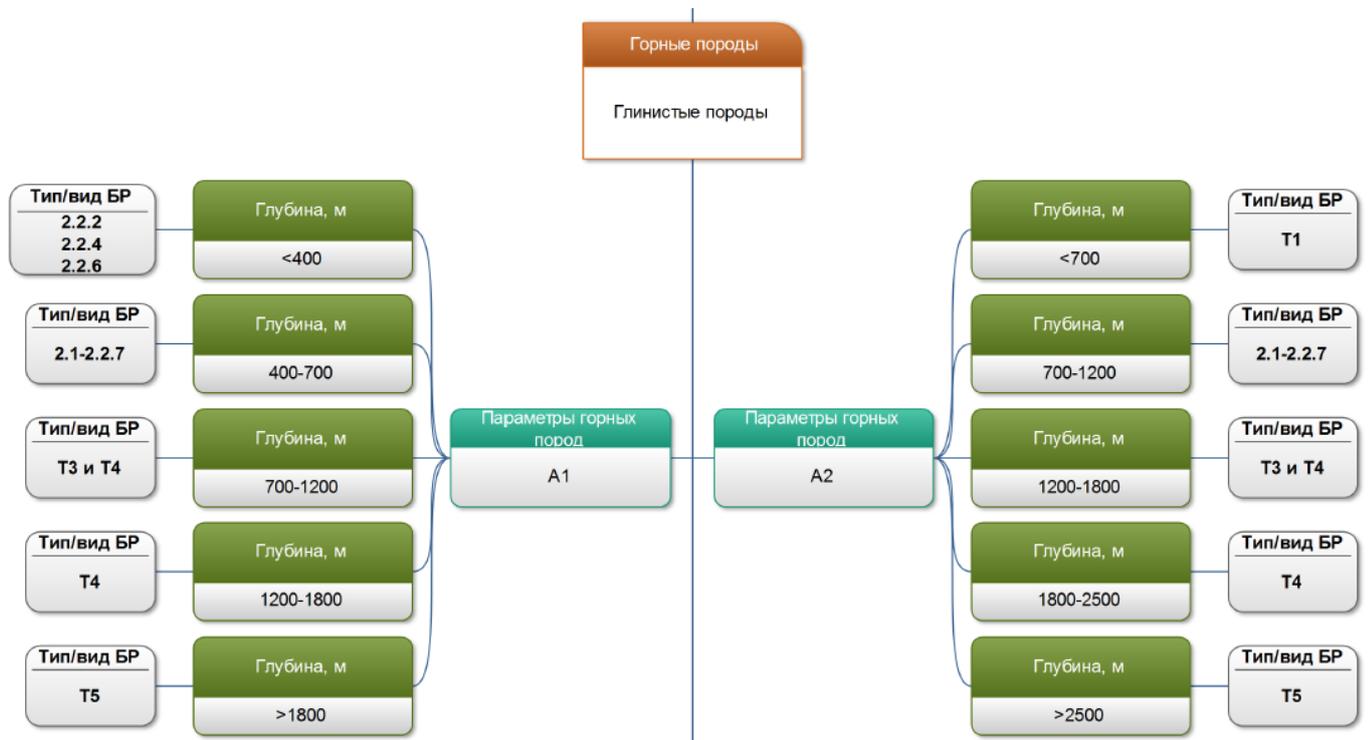


Рисунок 6 – Фрагмент А-А графа «Проектирование БР»

В четвертой главе рассмотрены вопросы разработки программного обеспечения базы знаний «Проектирование бурового раствора», а также освещены вопросы целесообразности введения национального стандарта ГОСТ Р 56946-2016 (ИСО 13500:2008) «Нефтяная и газовая промышленность. Материалы буровых растворов. Технические условия и испытания».

На основе рассмотренного выше алгоритма была создана программа БЗ «Проектирование БР», которая предназначена для формирования и постоянного пополнения компьютерного банка данных техническими характеристиками буровых растворов с различным компонентным составом, а также оперативного выбора из него оптимальных составов по задаваемым пользователями горно-геологическим и другим параметрами (рисунок 7).

Функции БЗ «Проектирование БР»:

1 Ввод, хранение и редактирование:

- названий буровых растворов и их различных компонентных составов, применяемых для тех или иных условий;

- номеров, названий (марок) и текстовой характеристики компонентов буровых растворов;

- технических характеристик, представляющих собой получаемую опытным путем информацию о различных рецептурах буровых растворов определенного компонентного состава и соответствующих им значениях показателей свойств полученных в определенных месторождениях.

2 Установка необходимого режима работы программы:

- выбор оптимального компонентного и долевого состава из двух или большего числа буровых растворов, а также выбор оптимального долевого состава бурового раствора;

- выбор числа и перечня показателей свойств промывочной жидкости, подлежащих регламентированию при бурении в тех или иных геолого-технических условиях, и ввод желательных (лучших и худших) пределов изменения их значений.

При этом минимально и максимально допустимые значения регламентируемых показателей, определяемые пределами исследованной области факторного пространства, подставляются из базы данных автоматически.

3 Привязка решений к объекту работ, вся вводимая информация о котором затем отображается в выходном документе (отчете).

4 Просмотр и при необходимости вывод на печать результатов решения.

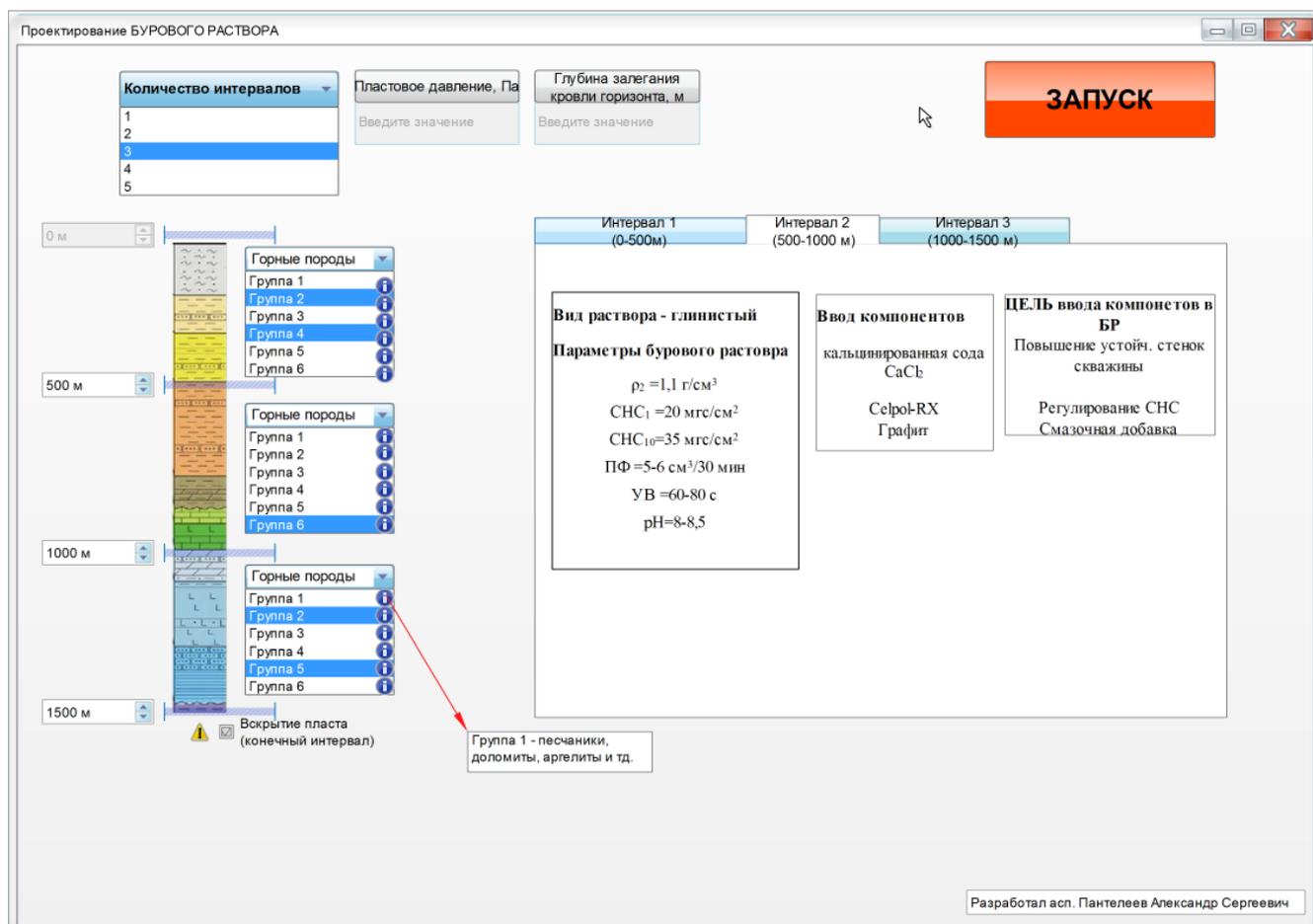


Рисунок 7 – Общий вид программы «Проектирование бурового раствора»

Разработка национального стандарта ГОСТ Р 56946-2016 (на основе ISO 13500:2008) «Нефтяная и газовая промышленность. Материалы буровых растворов. Технические условия и испытания» обусловлена необходимостью установления единых требований к материалам и их качеству для приготовления буровых растворов, а также для формирования перечня документов в области стандартизации, в результате применения которого будет обеспечиваться

соблюдение на добровольной основе соответствия продукции требованиям технического регламента «О безопасности машин и оборудования».

Стандартизация требований на материалы для приготовления буровых растворов способствует повышению безопасной эксплуатации их потребителем, дальнейшему расширению международной торговли и признанию результатов испытаний.

Введение в действие разработанного национального стандарта направлено на установление требований и рекомендаций по обеспечению качества, эффективности и безопасности, а также единых методов контроля (испытаний) материалов, применяемых в буровых растворах.

Принятие, введение в действие и применение указанного национального стандарта:

- обеспечит появление документа по стандартизации, определяющего единую, гармонизированную с международной, терминологию в области производства и применения материалов для приготовления буровых растворов;
- будет способствовать производству на территории РФ материалов для приготовления буровых растворов и материалов для буровых растворов, соответствующих международному уровню качества и безопасности;
- повысит конкурентоспособность на мировом рынке продукции, произведенной на территории РФ и будет способствовать устранению технических барьеров во внешней торговле;
- обеспечит взаимозаменяемость аналогичной продукции отечественного и импортного производства;
- будет способствовать процессу гармонизации отечественных и международных нормативных документов в области технического регулирования и стандартизации в отношении оборудования и материалов, применяемых в нефтяной и газовой промышленности.

Разработанное программное обеспечение базы знаний «Проектирование бурового раствора» позволяет автоматически, в диалоге с ЭВМ определить состав бурового раствора для конкретного интервала бурения с соответствующей горной породой. ПО БЗ «Проектирование бурового раствора» позволяет подобрать химические реагенты для предотвращения вероятности возникновения осложнений и аварийных ситуаций. Результаты исследования нашли практическое воплощение в нормативном документе, сформированном при нашем участии, – национальном стандарте ГОСТ Р 56946-2016 (на основе ИСО 13500:2008) «Нефтяная и газовая промышленность. Материалы буровых растворов. Технические условия и испытания» – и эффективно используются в учебном процессе Университета.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований представлено новое решение актуальной научной задачи – разработка механизма управления качеством сложных многофункциональных нетрадиционных химико-технологических систем с использованием множественных критериев, методов экспертных оценок и построения базы знаний, что в свою очередь позволило осуществить формализацию и создать, в качестве примера, методику выбора типа и компонентного состава бурового раствора, способствующего снижению вероятности осложнений и обеспечению качественного бурения на эффективных скоростях.

1 Сформулировано новое понятие сложной нетрадиционной химико-технологической системы. Даны теоретические обоснования того, что буровой является подсистемой сложной нетрадиционной ХТС.

2 В качестве характерного примера управления качеством бурового раствора, как подсистемы «БРСТО», предложена методика формирования базы знаний для решения задач подбора оптимального БР при вариации экзогенных факторов для определенного интервала бурения различных горных пород, что позволяет определить свойства и состав БР, обеспечивающего качественное бурение скважин на эффективных скоростях.

3 Исследованиями установлены четыре основные группы осложнений в бурении, как в сложной нетрадиционной ХТС, (которые можно предотвратить введением химических реагентов в буровой раствор) влекущие за собой возникновение аварий, – это прихваты, газоводонефтепроявления, поглощения и обвалы. В диссертации предложена схема взаимосвязи между группами вероятных осложнений и видами применяемых химических реагентов, что позволяет по результатам анализа предотвратить аварийную ситуацию, зависящую от возможности возникновения одного или сочетания нескольких типов осложнений.

4 Установлено, что для каждого интервала бурения целесообразно учитывать вероятность возникновения осложнений, обусловленных

особенностями горно-геологических пород, что нашло отражение в формировании базы данных для базы знаний «Проектирование бурового раствора».

5 Показана целесообразность использования достигнутых методических подходов для управления качеством иных сложных нетрадиционных ХТС.

6 Разработанное программное обеспечение базы знаний «Проектирование бурового раствора» позволяет автоматически в диалоге с ЭВМ определить состав бурового раствора для конкретного интервала бурения с соответствующей горной породой. Программное обеспечение БЗ «Проектирование бурового раствора» позволяет подобрать химические реагенты для предотвращения вероятности возникновения осложнений и аварийных ситуаций. На разработанное программное обеспечение получено федеральное свидетельство о регистрации электронного ресурса №22137.

7 Результаты работы нашли практическое применение, на их основе разработан национальный стандарт ГОСТ Р 56946-2016 (на основе ИСО 13500:2008) «Нефтяная и газовая промышленность. Материалы буровых растворов. Технические условия и испытания». Результаты исследования эффективно используются в учебном процессе Университета.

Основные положения диссертационной работы отражены в следующих публикациях:

1 Пантелеев А.С. Качество бурового раствора как объект управления // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2014. № 4. С. 60 – 64.

2 Пантелеев А.С. Этапы формирования базы знаний «Проектирование бурового раствора» / Григорьев Л.И., Кершенбаум В.Я., Пантелеев А.С.. // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2015. № 2. С. 23 – 27.

3 Пантелеев А.С. Химические реагенты бурового раствора как основа обеспечения качественного и безаварийного бурения// Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2015. № 4. С. 30 –34.

4 Пантелеев А.С. Формирование стенок ствола скважины с позиции сложной нетрадиционной химико-технологической системы // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2016 г. № 3. С. 16-20.

5 Пантелеев А.С. Управление качеством бурового раствора. Сборник материалов 67-ой Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2013», апрель 2013 г.

6 Пантелеев А.С. Проблемы совершенствования системы управления качеством буровых растворов. Сборник материалов 68-ой Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2014», апрель 2014 г.

7 Пантелеев А.С. Управление качеством сложных систем. Сборник материалов 69-ой Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2015», апрель 2015 г.

Список сокращений и условных обозначений

ФГБОУ ВО	– федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
ХТС	– химико-технологическая система
СНХТС	– сложные нетрадиционные химико-технологические системы
УКБР	– управление качеством буровых растворов
ЭВМ	– электронно-вычислительная машина
ПЭВМ	– персональная электронно-вычислительная машина
ПО	– программное обеспечение
НГК	– нефтегазовый комплекс
КХР	– классификация химических реагентов
ИИ	– искусственный интеллект
ГОСТ Р	– национальный стандарт Российской Федерации
ВАК	– высшая аттестационная комиссия
БРСТО	– система «буровой раствор – скважина – технологическое оборудование»
БР	– буровой раствор
БЗ	– база знаний
БД	– база данных
ЭС	– экспертная система
ISO (ИСО)	– международная организация по стандартизации
IDEF-0	– Integration Definition for Function Modeling (нотация описания процессов)