

На правах рукописи

ЮН ОЛЕГ ЯКОВЛЕВИЧ

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФОНТАНООПАСНОСТИ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Специальность **25.00.15**

Технология бурения и освоения скважин



АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ставрополь – 2005

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Северо-Кавказский государственный технический университет», Филиале – Астраханская военизированная часть по предупреждению возникновения и по ликвидации открытых газовых и нефтяных фонтанов ООО «Газобезопасность» ОАО «Газпром»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Пуля Ю.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Вартумян Г.Т.
кандидат технических наук, доцент
Андрианов Н.И.

Ведущая организация: «АстраханьНИПИгаз»
ООО «Астраханьгазпром»

Защита состоится « 2 » ноября 2005 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.245.02 при Северо-Кавказском государственном техническом университете.

Адрес: 355029, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Северо-Кавказского государственного технического университета.

Автореферат разослан «23» сентября 2005г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.245.02

к.т.н., доцент



Ю.А. Пуля

2006-4
16724

2185518
3

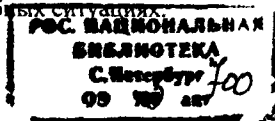
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В нефтяной и газовой промышленности наиболее сложными и опасными являются аварии, связанные с открытым фонтанированием при строительстве скважин. При этом в течение всего жизненного цикла скважины сохраняется вероятность возникновения газонефтеводопроявлений (ГНВП) и их перехода в аварийный выброс и открытый фонтан вследствие потенциальных возможностей пласта, используемых технических средств и применяемых технологических приемов. Особенно опасны по тяжести последствий выбросы и открытые фонтаны на нефтяных и газовых месторождениях с высоким содержанием сероводорода.

Таким образом, главная опасность, которую необходимо учитывать на стадиях проектирования и оперативного управления строительством скважины – это открытый фонтан. Однако существующая методология анализа и оценки риска при строительстве скважин позволяет дать только качественную оценку опасности возникновения аварий и не определяет степень риска количественно. Для получения количественных оценок опасности открытого фонтанирования нужны формализованные методы оценки сложных ситуаций и алгоритмы принятия решения, которые позволили бы оперировать количественными характеристиками.

Пути повышения фонтанной безопасности при строительстве нефтяных и газовых скважин зависят от степени изученности процессов взаимодействия, протекающих в стволе бурящейся скважины и определяющих характер возможных осложнений и аварий. Научное обобщение теории и практики предупреждения осложнений и аварий в бурении носит, в основном, качественный характер, и в нем отсутствует методологическая основа получения количественных оценок.

В этих условиях минимизировать риск возникновения аварийных ГНВП, выбросов и открытых фонтанов позволит обобщение и систематизация накопленного опыта по предупреждению и ликвидации ГНВП и привлечение численных методов принятия решения в подобных ситуациях.



В связи с этим проблема комплексной количественной оценки опасности возникновения аварийных ситуаций, создающих реальную угрозу потери управления скважиной, является весьма актуальной как с точки зрения повышения фонтанной безопасности, так и с точки зрения методологии анализа и оценки риска при строительстве скважин.

Цель работы. Разработка методологических основ комплексной количественной оценки потенциальной опасности возникновения аварийных ГНВП, выбросов и открытых фонтанов при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Основные задачи исследования.

1. Выбор и обоснование обобщенного критерия, качественно и количественно характеризующего потенциальную опасность возникновения аварийных ситуаций, связанных с ГНВП, при строительстве скважин

2 Систематизация сведений о причинах и условиях возникновения неуправляемого притока флюида из пласта в ствол скважины и его развития в аварийные ситуации с учетом современного видения проблемы в отечественной и зарубежной практике строительства скважин

3 Разработка классификации определяющих факторов и классификационных шкал геологических, технических и технологических факторов по обобщающему признаку: создание условий для возникновения и развития при гока.

4. Разработка и научное обоснование принципов количественной оценки опасности возникновения аварийных ГНВП при строительстве скважин на базе численных методов принятия решения.

5 Определение области практического применения и разработка методических рекомендаций по проведению комплексной оценки (экспертизы) инженерно-технических решений в области предупреждения, обнаружения и ликвидации ГНВП при строительстве скважин.

Методы решения поставленных задач основаны на обобщении теоретических положений и практических результатов изучения процессов, сопровождающих возникновение и развитие ГНВП при строительстве скважин, ком-

плексном подходе к оценке состояния многофакторного объекта и системном анализе с использованием методов прикладной математики при изучении объекта.

Научная новизна.

1. Впервые введено новое понятие в теории и практике предупреждения ГНВП, выбросов и открытых фонтанов при строительстве скважин – фонтаноопасность, и дано его количественное определение.

2. Произведена систематизация сведений о роли факторов, обуславливающих фонтаноопасность, по обобщающему признаку: создание условий для неуправляемого притока флюида из пласта в ствол скважины.

3. Разработаны классификация и классификационные шкалы геологических, технических и технологических факторов, обуславливающих фонтаноопасность.

4. Предложены научно-обоснованные принципы количественной оценки фонтаноопасности по единому критерию - обобщенному показателю фонтаноопасности.

5. Предложена принципиально новая модель принятия решения о фонтаноопасности объекта, объединяющая формализованные приемы и экспертные оценки специалистов.

Основные защищаемые положения.

1. Методологический подход к анализу и оценке факторов, обуславливающих опасность возникновения и развития неуправляемого притока флюида из пласта в ствол скважины.

2. Принципы выбора и классификации факторов, обуславливающих фонтаноопасность при строительстве нефтяных и газовых скважин.

3. Методологические основы комплексной количественной оценки фонтаноопасности при строительстве скважин.

4. Принципы определения эффективности мероприятий по предупреждению ГНВП в изменяющихся геолого-технических условиях.

5. Модель принятия решения о фонтаноопасности объекта, объединяющая формализованные приемы и субъективные экспертные оценки специалистов.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Предложен инструмент для проведения инженерной экспертизы фонтаноопасности в процессе разработки и реализации проектных решений при строительстве нефтяных и газовых скважин. Это в конечном итоге призвано повысить эффективность мероприятий по предупреждению ГНВП.

Методологические основы комплексной количественной оценки позволят создавать эффективные экспертные системы, которые помогут специалистам в принятии оптимальных инженерно-технических решений и предоставят необходимые рекомендации. Применение таких систем с использованием ПК сократит время и затраты при решении задач проектирования и планирования технологических операций при строительстве скважины

В результате исследования разработаны «Методические указания по проведению комплексной оценки фонтаноопасности при строительстве скважин», содержащие практические рекомендации для специалистов противofонтанной службы, буровых и проектных организаций.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на научно-техническом совете ООО «Газобезопасность» (Москва, 2005г.), на совместном заседании кафедр «Бурение нефтяных и газовых скважин» и «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых скважин» СевКавГТУ (Ставрополь, 2005).

Методические рекомендации, предложенные в диссертационной работе, доложены и обсуждены на тематическом семинаре «Методика проведения комплексной количественной оценки фонтаноопасности при строительстве скважин и ее практическое применение» (УТЦ «Досанг», Аксарайский, 2005) с представителями противofонтанной службы, буровых и проектных организаций (Филиал АВЧ ООО «Газобезопасность», Филиал «Астраханьбургаз», «АстраханьНИПИгаз» ООО «Астраханьгазпром»).

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе при подготовке специалистов нефтегазовой отрасли по курсу «Контроль скважины. Управление скважиной при ГНВП» с 2001г. и составили основу учебного пособия «Предупреждение, обнаружение и ликвидация газодонефтепроявлений», за работу над которым автору присуждена премия ОАО «Газпром» в области науки и техники за 2004г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованных литературных источников из 121 наименования. Работа изложена на 157 страницах машинописного текста, содержит 7 рисунков, 7 таблиц, 4 приложения.

Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю кандидату технических наук, доценту Пуле Ю.А., научному консультанту доктору технических наук, профессору Аветисову А.Г. за постоянное внимание и помощь в проведении исследований, а также благодарность своим коллегам к.т.н. Хлебникову С.Р., к.т.н. Пашиняну Л.А., к.т.н. Аникину В.И. и др., опыт и знания которых помогли при постановке и реализации ряда конкретных задач.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава содержит аналитический обзор организации производства буровых работ в части обеспечения фонтанной безопасности в отечественной и зарубежной практике строительства скважин.

Первая часть посвящена анализу современного состояния теории и практики предупреждения ГНВП, выбросов и открытых фонтанов при строительстве скважин.

Исследованию причин возникновения ГНВП и открытых фонтанов посвящены многочисленные теоретические и экспериментальные работы В.Д. Малеванского, В.И. Игревского, К.И. Мангушева, Г.М. Гульянца, В.И. Хоботько, О.А. Блохина, Д.В. Рымчука, А.И. Булатова, В.Д. Шевцова, А.К. Куксова, Э.В. Бабаяна, У.К. Гоинса, Р. Шеффилда, Ж. Бома, Д. Бригана, Б. Лопеса и других отечественных и зарубежных авторов.

В настоящее время обозначен наиболее надежный путь обеспечения фонтанной безопасности – предупреждение и своевременная ликвидация ГНВП на ранней стадии возникновения. Но, несмотря на постоянный поиск новых оптимальных решений в комплексе задач по предупреждению ГНВП, количество аварийных ситуаций, создающих реальную угрозу потери управления скважиной, остается достаточно высоким.

По мнению многих исследователей, это обусловлено тем, что закономерности возникновения, последовательность и конечный этап развития ГНВП в аварийные ситуации являются результатом влияния большого числа самых разнообразных факторов, полностью учесть которые практически невозможно.

Обзор литературных источников показывает, что обычно факторы, обуславливающие возникновение и развитие ГНВП, изучаются обособленно, тогда как для установления системных связей необходимо исследовать их совместное воздействие и выявить комплекс информативных геологических, технических и технологических факторов для обоснованного принятия решения о безопасности ведения буровых работ.

Статистические данные отечественной и зарубежной буровой практики свидетельствуют, что на современном этапе по-прежнему серьезной во всех отношениях проблемой остаются открытые нефтяные и газовые фонтаны. Решение проблемы повышения фонтанной безопасности, наряду с анализом причин имевших место аварий, включает оценку фактического соответствия каждой скважины в ходе ее строительства установленным критериям безопасности.

Предупреждение ГНВП является одним из важнейших этапов проектирования строительства скважины. При этом существующие аналитические методы, применяемые на стадии проектирования, допускают возникновение осложнений и оставляют нерешенной задачу оперативной оценки состояния скважины с целью принятия решения о безопасной ликвидации ГНВП в случае их возникновения.

Современные методы оперативной оценки состояния технологического объекта в бурении не могут в достаточной степени обеспечить надежность

безопасного управления скважиной, поскольку не дают возможности принять необходимое комплексное решение ввиду отсутствия обобщенных критериев.

Вторая часть посвящена обзору современного состояния методологии анализа и оценки риска техногенного воздействия на окружающую среду при строительстве скважин.

Традиционные направления обеспечения безопасности в соответствии с действующими правовыми и нормативно-техническими требованиями дополняются новыми процедурами, такими, как анализ и оценка риска. Методологическую основу анализа риска составляет качественная оценка степени риска с применением научно обоснованных методик количественной оценки и критериев риска. Однако в настоящее время концепция процедуры анализа и оценки технологического риска применительно к строительству скважин отсутствует.

Развитие методологии анализа и оценки риска в нефтяной и газовой промышленности отражено в работах А.Г. Бордюгова, Д.В. Райта, Л.Х. Флака, В.И. Балабы, А.И. Колесова, Н.С. Белова и др.

Известные методики анализа и оценки риска, применяемые в отечественной и зарубежной практике на стадии проектирования (Приложение «Противофонтанная и газовая безопасность» к рабочему проекту на строительство скважины, разработанное «АстраханьНИПИгаз»; «Инструкция по использованию таблицы оценки риска», разработанная компанией «Халибуртон» и др.) позволяют дать качественную оценку степени риска аварийного фонтанирования и не содержат количественных оценок на основе установления взаимосвязей геологических условий, технического оснащения и применяемой технологии.

Примером комплексного подхода к решению задачи оценки опасности возникновения открытых фонтанов при эксплуатации скважин является работа Х.А. Асфандиярова, Р.А. МаксUTOва. Однако имеющиеся в ней рекомендации по классификации фонтанирующих скважин не могут быть использованы в практике бурения в связи с отсутствием научного обоснования анализа и оценки технологического риска, что обуславливает необходимость поиска новых аналитических решений.

В третьей части приводится анализ практического применения методов прикладной математики для решения научно-технических задач по минимизации риска возникновения осложнений и аварий в бурении скважин.

Наибольшее распространение в решении прикладных задач планирования и оперативного управления при бурении скважин в осложненных условиях получили диагностические методы, которые по мнению многих исследователей (А.Х. Мирзаджанзаде, А.Г. Аветисов и др.) являются наиболее предпочтительными в распознавании ситуаций, когда изменения каких-либо факторов в совокупности могут привести к необратимым изменениям в процессе бурения (выброс, прихват, гидроразрыв пласта, потеря герметичности заколонного пространства).

Однако исследования, посвященные распознаванию выбросов при бурении скважин с использованием диагностических методов, немногочисленны и имеют разрозненный характер. Тем не менее, в их ряду следует отметить работы А.К. Куксова, Г.Л. Генделя, В.Д. Шевцова и Р.М. Хасаева, В.И. Федоренко, З.Т. Алиева, в которых предложены методики распознавания и принятия решения о степени выбросоопасности ситуации при бурении скважин. Вместе с тем в упомянутых работах, проводимых с целью повышения эффективности распознавания ГНВП и предотвращения их перехода в выброс и открытый фонтан, отсутствуют комплексное решение задачи и методы получения количественных оценок потенциальной опасности.

Среди зарубежных публикаций на эту тему наиболее известной является методика оценки вероятности открытого фонтанирования законченной бурением скважины, разработанная А. Вуардом, инженером фирмы «Континентл ойл». Особого внимания в указанной работе заслуживает предложенный подход к оценке технических факторов, в котором используется принцип оценки надежности компонентов скважинного оборудования по типу применяемых уплотнений герметизирующих устройств. Очевидны преимущества указанной методики при оценке проектных и оперативных технических решений в ходе строительства скважины.

Известен метод получения количественных оценок многофакторных технологических процессов на основе обобщенной функции желательности, который уже нашел практическое применение в решении задач оптимизации промывки скважины, рецептур тампонажных и буровых растворов. В работах А.Г. Аветисова, Н.А. Мариампольского, А.И. Булатова, В.И. Рябченко и др. предложены методики, позволяющие довести процедуры оценки и принятия решения при выборе управляющих воздействий до численных выражений.

Использование уже известных принципов количественной оценки может составить основу для разработки методологии комплексной количественной оценки потенциальной опасности возникновения аварийных ГНВП. Совершенствование методологического обеспечения при планировании и управлении безопасностью технологических процессов позволит повысить эффективность мероприятий по предупреждению ГНВП за счет наиболее полного использования возможностей технических средств и технологических приемов.

Вторая глава посвящена разработке классификации определяющих факторов по степени их влияния на возникновение и развитие ГНВП.

В работе впервые приводится понятие «фонтаноопасность» как мера потенциальной опасности возникновения и развития ГНВП в аварийные выбросы и открытое фонтанирование при строительстве нефтяных и газовых скважин. Для количественной оценки фонтаноопасности выбран единый критерий - обобщенный показатель, который количественно характеризует меру опасности по комплексу геологических, технических и технологических факторов.

С учетом современного видения проблемы возникновения аварийных ГНВП, выбросов и открытых фонтанов сформулированы принципы классификации факторов, обуславливающих фонтаноопасность, по единому признаку: создание условий для возникновения и развития неуправляемого притока флюида из пласта в ствол скважины.

В первой части теоретически обоснована классификация геологических факторов с позиций фонтаноопасности.

Из числа проектных геологических данных на строительство скважины выбраны показатели, которые несут наибольшую информацию о потенциальных условиях в залежи нефти, газа или пластовой воды для возникновения и развития неуправляемого притока. При оценке степени влияния геологических факторов в качестве оценочных показателей рассмотрены не столько абсолютные значения, сколько источники возможных ошибок при определении геологических характеристик вскрываемого разреза. Такой подход позволит иметь количественное определение фонтаноопасности скважины, отражающее объективное состояние.

Во второй части приводится теоретическое обоснование классификации технических факторов с позиций фонтаноопасности.

Из числа проектных технических данных на строительство скважины выбраны показатели, которые определяют возможности технических средств создавать условия для возникновения и развития неуправляемого притока. При оценке степени влияния технических факторов рассмотрены такие технические средства и их характеристики, которые несут наибольшую информацию о текущем состоянии и определяют возможность воздействия на динамику системы «скважина-пласт».

В третьей части дается теоретическое обоснование классификации технологических факторов с позиций фонтаноопасности.

Из числа проектных технологических данных выбраны показатели, которые определяют возможность управляющих воздействий способствовать возникновению и развитию неуправляемого притока. При оценке степени влияния технологических факторов в качестве оценочных показателей рассмотрены такие технологические характеристики, которые несут наибольшую информацию о причинах нарушения равновесия и определяют динамику состояния системы «скважина-пласт».

На основе обобщения полученных сведений разработана классификация факторов, обуславливающих фонтаноопасность при строительстве нефтяных и газовых скважин, представленная на рис. 1.

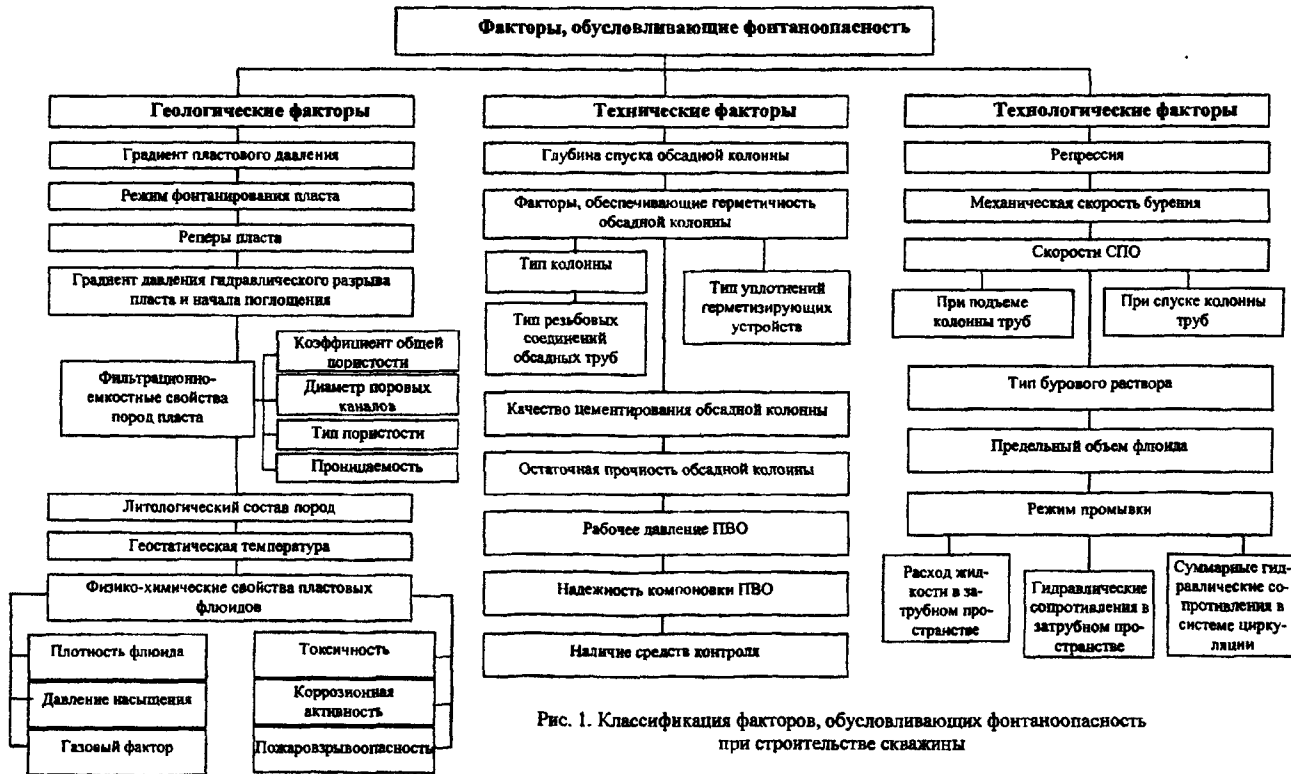


Рис. 1. Классификация факторов, обуславливающих фонтаноопасность при строительстве скважины

Третья глава посвящена разработке методологических основ комплексной количественной оценки фонтаноопасности при строительстве нефтяных и газовых скважин.

В первой части сформулированы принципы количественной оценки фонтаноопасности с использованием теоретических положений работ А.Г. Аветисова, Ю.П. Адлера, А.Х. Мирзаджанзаде, Д.Н. Башкатова, Т.Л. Саати и др.

Комплексная количественная оценка фонтаноопасности представляет собой нахождение значений целевой функции фонтаноопасности по обобщенному показателю - реакции на воздействие геологических (внешних условий), технических и технологических (управляемых) факторов, которые определяют потенциальную опасность возникновения открытого фонтанирования при строительстве скважины.

Основным принципом нахождения обобщенного показателя является выбор безразмерной шкалы, которая должна быть однотипной для всех объединяемых показателей геологических, технических, технологических факторов.

Предложена безразмерная шкала фонтаноопасности, включающая пять фиксированных уровней (табл.1).

Таблица 1

Шкала фонтаноопасности

<i>Уровень фонтаноопасности показателя</i>	<i>Значение показателя</i>
<i>Очень высокий</i>	<i>0,80 – 1,00</i>
<i>Высокий</i>	<i>0,63 – 0,80</i>
<i>Средний</i>	<i>0,37 – 0,63</i>
<i>Низкий</i>	<i>0,20 – 0,37</i>
<i>Очень низкий</i>	<i>0,00 – 0,20</i>

Основной задачей комплексной количественной оценки является свертка частных показателей фонтаноопасности геологических ($\Phi_{ГГ}$), технических ($\Phi_{ТЛХ}$) и технологических ($\Phi_{ТХН}$) факторов в один критерий – обобщенный показатель фонтаноопасности, который представлен в виде функции

$$\Phi = \sqrt[3]{\Phi_{ГГ} \cdot \Phi_{ТЛХ} \cdot \Phi_{ТХН}}$$

Частные показатели фонтаноопасности по группам объединяемых факторов Φ_i (где i – геологические, технические, технологические) задаются как среднее геометрическое от частных показателей факторов в виде функции

$$\Phi_i = \sqrt[n]{\phi_1 \cdot \phi_2 \cdots \phi_n}.$$

В основу нахождения значений частных показателей фонтаноопасности каждого из учитываемых факторов ϕ_u ($u = 1, 2, 3, \dots, n$) положено преобразование исходных показателей факторов в безразмерную шкалу фонтаноопасности, которая устанавливает степень их соответствия заданным уровням.

Для вычисления частных показателей используются известные функции:

- для показателей, имеющих односторонние ограничения ($y \leq y_{max}$ или $y \geq y_{min}$)

$$\phi = \exp[-\exp(-y')],$$

- для показателей факторов, имеющих двусторонние ограничения ($y_{min} \leq y \leq y_{max}$)

$$\phi = \exp[-(|y'|)^n],$$

где y' – безразмерное значение исходного показателя фактора y ; n – показатель степени, которые определяются при наличии соответствия определенных значений y базовым отметкам принятой шкалы фонтаноопасности.

Базовые отметки, представленные числами на шкале фонтаноопасности, соответствуют точкам некоторой кривой функции фонтаноопасности. Кривая фонтаноопасности может быть использована как номограмма.

Такой простой прием составляет основу экспресс-метода количественной оценки фонтаноопасности, который отличается простотой и оперативностью. Применение экспресс-метода требует введения дополнительных ограничений на принимаемые значения с точки зрения коэффициента оптимизма. При этом если использовать оптимистический подход, необходимо выбирать только минимальные значения из каждого интервала (0; 0,2; 0,37; 0,63; 0,8), и наоборот, пессимистический подход позволяет выбирать только максимальные значения (0,2; 0,37; 0,63; 0,8; 1,0).

При системных исследованиях объекта необходимо использовать аналитический способ построения функции фонтаноопасности, основанный на расче-

тах функциональных связей. Для односторонних ограничений функциональная связь, принимая $y' = f(y)$, устанавливается в виде полинома

$$y' = a_0 + a_1 y \quad \text{или} \quad y' = a_0 + a_1 y + a_2 y^2,$$

откуда имеем систему уравнений для определения коэффициентов a_0 , a_1 и a_2 .

Для двусторонних ограничений функциональная связь устанавливается

по формулам

$$y' = \frac{2y - (y_{\max} + y_{\min})}{y_{\max} - y_{\min}} \quad n = \frac{\ln \ln \phi^{-1}}{\ln |y'|}.$$

где при определении показателя степени n обычно берут значения y' и ϕ в диапазоне значений 0,63 - 0,80.

На основе классификации факторов и принципов количественной оценки разработана структурная схема (алгоритм) комплексной оценки фонтаноопасности при строительстве скважины, которая приводится на рис.2.

В представленной схеме «конечным событием» является обобщенный показатель фонтаноопасности, «левые ветви дерева» представлены частными показателями фонтаноопасности проектных геологических, технических и технологических факторов, а «правые ветви дерева» - частными показателями фонтаноопасности оперативных факторов.

Учет оперативных факторов позволяет охарактеризовать уровень фонтаноопасности при строительстве скважины в реальном масштабе времени. Первоначально к оперативным факторам могут быть механически отнесены проектные показатели факторов. По мере накопления опыта первоначальная шкала фонтаноопасности, как и структура оценки, могут быть модифицированы и обобщены.

Вторая часть посвящена построению функции фонтаноопасности геологических факторов при строительстве скважины.

Сформулированы принципы количественной оценки исходных показателей геологических факторов с позиций фонтаноопасности. По каждому из рассмотренных геологических факторов установлены ограничения, справедливые для конкретных горно-геологических условий строительства скважины

Обобщенный показатель фонтанопасности

$$\Phi = \sqrt[3]{\Phi_{ГГ} \Phi_{ТТЛ} \Phi_{ТТМ}}$$

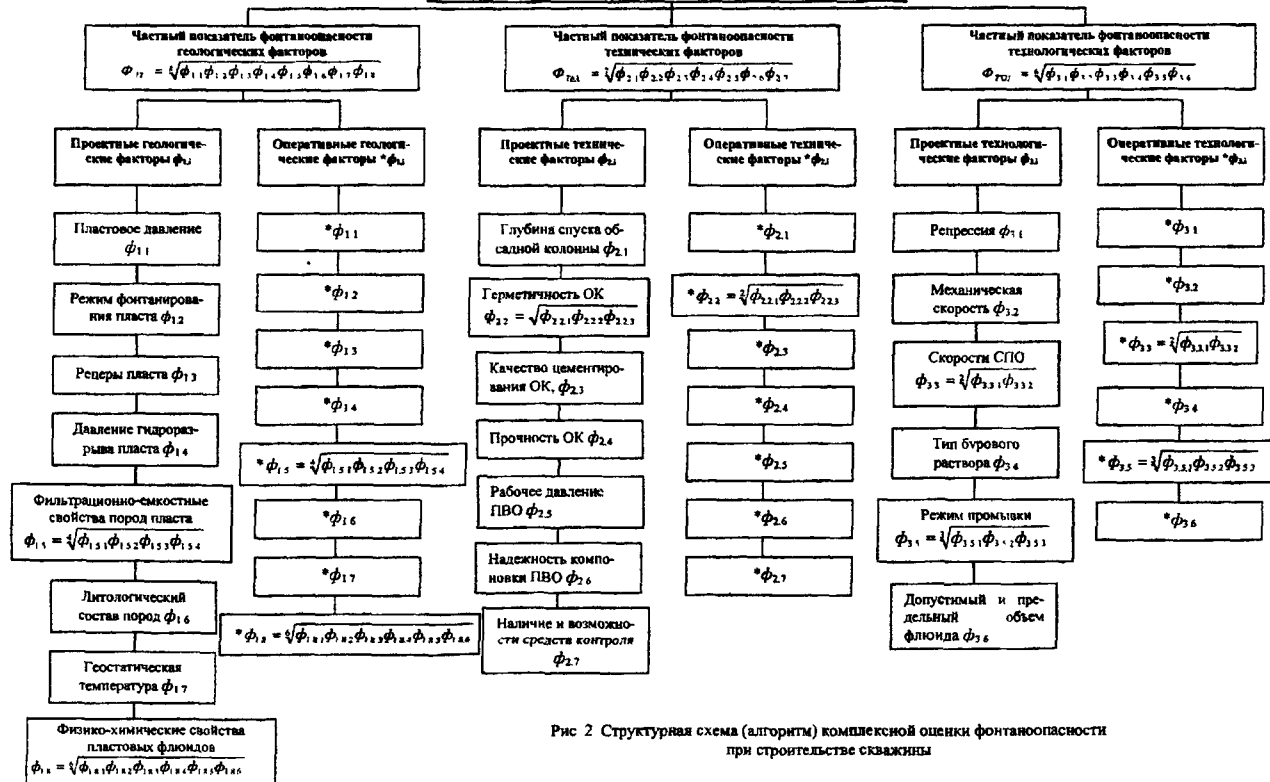


Рис 2 Структурная схема (алгоритм) комплексной оценки фонтанопасности при строительстве скважины

В результате исследования построена частная функция фонтаноопасности геологических факторов по принципу классификационной шкалы с фиксированным набором уровней показателей для количественной оценки.

Следует отметить, что выбор базовых и конкретных значений показателей учитываемых факторов диктуется определенной задачей и может быть изменен. Используя построенные по этому принципу таблицы, можно производить оценку фонтаноопасности по комплексу рассматриваемых факторов.

Представление о классификационной шкале функции фонтаноопасности геологических факторов дает табл. 2. При этом численное значение частного показателя комплексного фактора физико-химических свойств пластовых флюидов находится по формуле

$$\phi_{18} = \sqrt[4]{\phi_{181} \cdot \phi_{182} \cdot \phi_{183} \cdot \phi_{184} \cdot \phi_{185} \cdot \phi_{186}}$$

где ϕ_{181} , ϕ_{182} , ϕ_{183} , ϕ_{186} — частные показатели, определяющие плотность флюида, давление насыщения, газовый фактор, токсичность, коррозионную активность, пожаровзрывоопасность, соответственно.

Предложенный подход был использован при оценке рабочего проекта на строительство сверхглубокой поисковой скважины №1 «Северо-Астраханская». Рассчитанный с помощью экспресс-метода частный показатель фонтаноопасности по комплексу геологических факторов в интервале бурения 5500–6500 м под эксплуатационную колонну составил 0,638, что соответствует высокому уровню фонтаноопасности

Третья часть посвящена построению функции фонтаноопасности технических факторов при строительстве скважины.

Сформулированы принципы количественной оценки исходных показателей технических факторов с позиций фонтаноопасности. По каждому из рассмотренных технических факторов установлены ограничения, справедливые для конкретных условий строительства скважины. В результате исследования построена функция фонтаноопасности технических факторов по принципу классификационной шкалы с фиксированным набором уровней показателей для количественной оценки.

Таблица 2.

Функция фонтаноопасности

Показатели факторов		Уровни фонтаноопасности				
Наименование		Очень низкий 0,0 - 0,20	Низкий 0,20 - 0,37	Средний 0,37 - 0,63	Высокий 0,63 - 0,80	Очень высокий 0,80 - 1,0
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ						
Физико-химические свойства пластовых флюидов	Плотность флюида, γ_{fl}	Пластовая вода 1000-1200 кг/м ³	Нефть 750-1000 кг/м ³	Нефтегазоконденсат 650 - 750 кг/м ³	Газоконденсат 450 - 650 кг/м ³	Газ менее 450 кг/м ³
	Газовый фактор, $Y_{га}$	Менее 200 м ³ /т	200 м ³ /т	Более 200 м ³ /т	300-500 м ³ /т	Более 500 м ³ /т
	Долевая насыщенность, $Y_{до}$	—	$R_{до} = R_{не}$	$R_{до} > R_{не}$	$R_{до} < R_{не}$	—
	Токсичность, $Y_{ткс}$	Пластовый флюид не содержит токсичных веществ	Малоопасные H ₂ S до 0,5 %	Опасные H ₂ S до 0,5 - 3 %	Особо опасные H ₂ S до 3 - 6 %	Чрезвычайно опасные H ₂ S свыше 6 %
	Коррозионная активность, $Y_{ка}$	Пластовый флюид не содержит CO ₂ и других примесей	Содержание примесей CO ₂ до 6 % объемных	Содержание примесей CO ₂ , H ₂ S до 6 % объемных	Содержание примесей CO ₂ , H ₂ S до 25 % объемных	Содержание примесей H ₂ S свыше 25 % объемных
Пожаро-взрывоопасность, $Y_{пв}$	Пластовый флюид не содержит горючих газов	НПВ 5 % об. (метан)	НПВ 4,3 % об. (сероводород)	НПВ 1,8 - 2,9% об. (бутыл, пропан, этил)	НПВ 0,9 % об. (газовый конденсат)	
ТЕХНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ						
Герметичность обсадной колонны	тип колонны $Y_{2.1}$	Односекционная колонна	Комбинированная односекционная колонна	Двухсекционная колонна	Промежуточная секция колонны. Колонна-хвостовик	Потайная колонна-«клетушка»
	тип резьбы с соединительных обсадных труб $Y_{2.2}$	Стандартизированные муфтовые соединения с резьбой повышенной герметичности	Стандартизированные муфтовые соединения повышенной герметичности	Стандартизированные муфтовые соединения с трапецидальной резьбой	Стандартизированные муфтовые соединения с треугольной резьбой	Соединения с нестандартной резьбой
	тип уплотнений герметизирующих устройств в колонне $Y_{2.3}$	Самонуплотняющиеся соединения «металл по металлу» Фланцевые соединения с кольцами	Уплотнения стационарного пакера Резьбовые соединения Торфолоновые уплотнения	Уплотнения извлекаемого пакера Муфта МСЦ Подвеска хвостовика на цементном камне	Стыковочное устройство секций обсадной колонны	Сальниковые резиновые уплотнения
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ						
Режимы притока	расход раствора в затрубном пространстве $Y_{3.1}$	$\frac{Q_r}{Q_f} > 3,0$	$2,5 < \frac{Q_r}{Q_f} \leq 3,0$	$1,5 < \frac{Q_r}{Q_f} \leq 2,5$	$1,0 < \frac{Q_r}{Q_f} \leq 1,5$	$\frac{Q_r}{Q_f} \leq 1,0$
	потери давления в затрубном пространстве $Y_{3.2}$	$\frac{G_{r,c}}{G_s} > 1,3$	$1,2 < \frac{G_{r,c}}{G_s} \leq 1,3$	$1,1 < \frac{G_{r,c}}{G_s} \leq 1,2$	$1,0 < \frac{G_{r,c}}{G_s} \leq 1,1$	$\frac{G_{r,c}}{G_s} \leq 1,0$
	суммарные потери давления в системе циркуляции $Y_{3.3}$	$\frac{P_{r,c}}{[P]} < 0,66$	$0,66 \leq \frac{P_{r,c}}{[P]} < 0,75$	$0,75 \leq \frac{P_{r,c}}{[P]} < 0,8$	$0,8 \leq \frac{P_{r,c}}{[P]} < 1,0$	$\frac{P_{r,c}}{[P]} \geq 1,0$

Представление о классификационной шкале функции фонтаноопасности технических факторов дает табл. 2. При этом частный показатель комплексного фактора герметичности обсадной колонны находится по формуле

$$\phi_{2.2} = \sqrt[3]{\phi_{2.2.1} \cdot \phi_{2.2.2} \cdot \phi_{2.2.3}},$$

где $\phi_{2.2.1}$, $\phi_{2.2.2}$, $\phi_{2.2.3}$ – частные показатели, определяющие тип обсадной колонны, тип резьбовых соединений, тип уплотнений герметизирующих устройств, соответственно.

Предложенный подход был использован при оценке рабочего проекта на строительство сверхглубокой поисковой скважины №3 «Девонская». Определенный экспресс-методом частный показатель фонтаноопасности по комплексу технических факторов в интервале бурения 3870-5500 м под III промежуточную колонну-хвостовик составил 0,307, что соответствует низкому уровню фонтаноопасности.

Четвертая часть посвящена построению функции фонтаноопасности технологических факторов при строительстве скважины.

Сформулированы принципы количественной оценки технологических факторов с позиций фонтаноопасности. При этом приведены соотношения, определяющие устойчивость равновесия в системе «скважина-пласт», по каждому из рассмотренных показателей факторов установлены технологические ограничения, справедливые для конкретных условий строительства скважины.

В результате исследования построена функция фонтаноопасности технологических факторов по принципу классификационной шкалы с фиксированным набором уровней показателей для количественной оценки

Представление о разработанной классификационной шкале функции фонтаноопасности технологических факторов дает таблица 2. При этом частный показатель комплексного фактора режима промывки скважины находится по формуле

$$\phi_{3.5} = \sqrt[3]{\phi_{3.5.1} \cdot \phi_{3.5.2} \cdot \phi_{3.5.3}},$$

где $\phi_{3.5.1}$, $\phi_{3.5.2}$, $\phi_{3.5.3}$ – частные показатели, определяющие расход жидкости и потери давления в затрубном пространстве, суммарные потери давления при циркуляции, соответственно.

Предложенный подход и экспресс-метод были использованы при оценке рабочего проекта на строительство сверхглубокой поисковой скважины №1 «Северо-Астраханская». Частный показатель фонтаноопасности технологических факторов в интервале бурения 1950-3980 м под II промежуточную колонну составил 0,246, что соответствует низкому уровню фонтаноопасности.

Четвертая глава посвящена вопросам применения методологии комплексной количественной оценки фонтаноопасности на стадиях строительства скважины.

В первой части определена область практического применения комплексной количественной оценки фонтаноопасности:

1. Инженерная экспертиза рабочих проектов на строительство скважины в области предупреждения, обнаружения и ликвидации ГНВП.
2. Инженерная экспертиза изменений и дополнений к рабочим проектам на строительство скважины, планов на производство работ при вскрытых напорных горизонтах, включая аварийные работы.
3. Оперативная оценка состояния фонтанной безопасности в ходе строительства скважины при вскрытии напорных горизонтов.

Во второй части рассмотрены порядок практического использования и этапы проведения процедуры комплексной оценки фонтаноопасности специалистами профилактической службы военизированных частей и отрядов – филиалов ООО «Газобезопасность».

В общем случае процедура комплексной оценки фонтаноопасности включает следующие этапы:

- сбор информации о горно-геологических условиях, технической оснащенности и применяемой технологии при строительстве скважины;
- анализ и оценка геологических, технических и технологических факторов, обуславливающих фонтаноопасность;
- проведение необходимых расчетов и определение частных показателей фонтаноопасности геологических, технических, технологических факторов и обобщенного показателя фонтаноопасности;

- анализ и оценка полученных результатов, принятие решения о соответствии состояния объекта одному из заданных уровней фонтаноопасности;
- формирование технико-технологических решений по снижению уровня фонтаноопасности объекта;
- принятие решения о выдаче заключения по результатам проверки состояния объекта: выдача разрешения, предписания, или запрещения на дальнейшее проведение работ.

На всех этапах могут применяться формализованные таблицы. На этапе анализа полученных результатов и принятия решения о состоянии объекта рекомендована табл. 3. Вариант принятия организационно-технологических решений, который представляет собой схему завершённой процедуры с выдачей заключения на основе экспертной оценки, приводится на рис. 3.

В третьей части приводится пример комплексной оценки фонтаноопасности при строительстве сверхглубокой поисковой скважины № 2 «Девонская».

В этом случае рассмотрены этапы оценки проектных решений, оперативной оценки при изменении проектных решений в ходе строительства скважины, а также оперативной оценки при возникновении аварийного ГНВП. Составлены уравнения функциональных связей для оценки фонтаноопасности технических и технологических факторов аналитическим способом.

В результате комплексной оценки проектных решений в интервале бурения 6000-7000 м под эксплуатационную колонну определены: частные показатели геологических (0,616), технических (0,323), технологических факторов (0,232) и обобщенный показатель (0,359), что соответствует низкому уровню фонтаноопасности.

Результаты оперативной оценки в указанном интервале бурения показали: до возникновения аварийной ситуации обобщенный показатель (0,452) соответствует среднему уровню фонтаноопасности, после ликвидации аварийной ситуации обобщенный показатель (0,334) соответствует низкому уровню фонтаноопасности.

Таблица 3.

Заключение инженерной экспертизы фонтаноопасности

Уровень фонтаноопасности	Баллы по шкале	Оценка состояния объекта	Экспертное заключение
Очень низкий	0,0 – 0,20	Безопасное	Проектная документация на строительство скважины отвечает высоким требованиям в части обеспечения фонтанной безопасности. Форма организации профилактической работы - обследования согласно регламентам и графикам.
Низкий	0,2 – 0,37	Нормальное	Проектная документация на строительство скважины в части обеспечения фонтанной безопасности соответствует установленным требованиям. Рекомендуется: планирование и реализация мероприятий, направленных на повышение фонтанной безопасности. Форма организации профилактической работы методом плановых проверок.
Средний	0,37 – 0,62	Допустимое	Рабочий проект на строительство скважины в части обеспечения фонтанной безопасности не соответствует установленным требованиям. Требуется: планирование и реализация мероприятий, направленных на повышение фонтанной безопасности. Допустимый уровень фонтаноопасности при оперативной оценке состояния скважины с учетом фактических данных о несоответствии геолого-технических условий проектным показателям. Выдача предписания на устранение и недопущение нарушений. Форма организации профилактической работы методом плановых проверок (0,37) или методом круглосуточного дежурства (0,62).
Высокий	0,62 – 0,80	Опасное (предаварийное)	Недопустимый уровень фонтаноопасности при оперативной оценке состояния скважины. Выдача предписания на устранение и недопущение нарушений (0,62) или выдача запрещения (0,80) на дальнейшее проведение работ. Согласование дальнейших работ с военизированной противofонтанной службой. Форма организации профилактической работы методом круглосуточного дежурства.
Очень высокий	0,80 – 1,0	Аварийное	Неприемлемый уровень фонтаноопасности. Выдача запрещения на дальнейшее проведение работ. При планировании дальнейших работ детальное обоснование и согласование с военизированной противofонтанной службой. Форма организации профилактической работы методом круглосуточного дежурства.

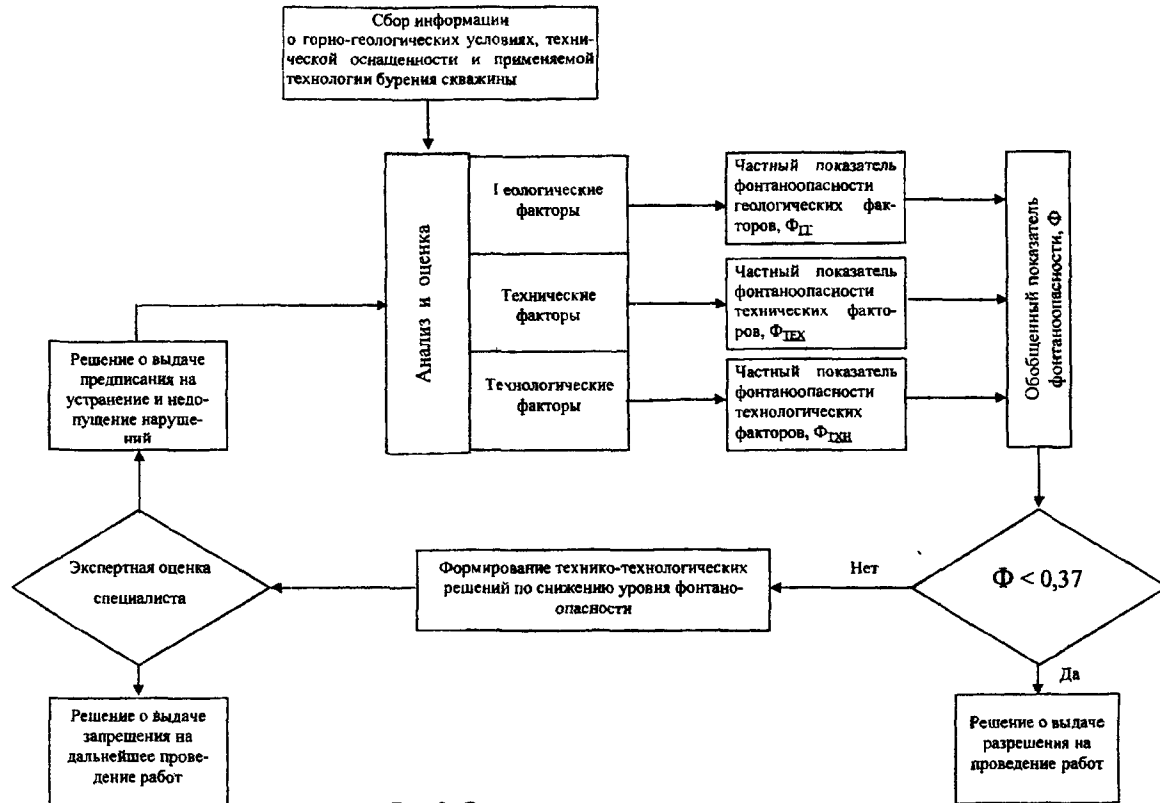


Рис.3. Организационно-технологическая схема принятия решения о фонтаноопасности объекта.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлено, что одной из основных проблем повышения фонтанной безопасности при строительстве нефтяных и газовых скважин является наиболее полное использование потенциала технических средств и технологических приемов при наличии определенных принципов их выбора в зависимости от геологической обстановки.

2. Предложен методологический подход, который объединяет результаты систематизации отечественного и зарубежного опыта по предупреждению ГНВП и формализованные математические приемы принятия решения с целью оценки фактического соответствия скважины в ходе ее строительства установленным требованиям фонтанной безопасности.

3. Разработана классификация определяющих факторов по критерию фонтаноопасности. Понятие «фонтаноопасность» содержит качественное и количественное определение потенциальной опасности возникновения и развития ГНВП обусловленной геологическими, техническими и технологическими факторами.

4. Предложены принципы комплексной количественной оценки фонтаноопасности, базирующиеся на использовании численного метода принятия решения, наиболее соответствующего состоянию проблемы, цели и задач исследования.

5. Разработан алгоритм комплексной количественной оценки фонтаноопасности в виде структурной схемы математических зависимостей, определяющих в совокупности математическую модель принятия решения о фонтаноопасности по обобщенному количественному критерию.

6. Построены классификационные шкалы целевой функции фонтаноопасности геологических, технических и технологических факторов, сформулированы ограничения, определяющие области допустимых значений для показателей факторов.

7. Показано, что методология комплексной количественной оценки фонтаноопасности позволяет получить дифференцированную оценку состояния

скважины на всех стадиях ее строительства, а выбранный критерий - обобщенный показатель фонтаноопасности - является величиной, чувствительной к изменениям внешних условий и управляющих воздействий.

8. Предложено имеющее адаптивный характер решение задачи анализа и количественной оценки степени риска. Это позволяет провести сравнительную оценку действующего фонда скважин с использованием формализованной процедуры принятия решения по единому критерию.

9. Методологический подход рекомендуется использовать при создании экспертных систем информационного обеспечения для служб контроля за технологией строительства скважин буровых и нефтегазодобывающих предприятий.

10. Результаты исследования послужили основой «Методических указаний по проведению комплексной оценки фонтаноопасности при строительстве скважин» для специалистов буровых и проектных организаций, противofонтанной службы ООО «Газобезопасность».

Основные положения по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Система обнаружения углеводородов на ранней стадии их появления при бурении скважин /Аветов Р.В., Чудновский Д.М., Григорьев В.С., Юн О.Я.// Нефтяное хозяйство, 2001, №3. - С. 31-35.

2. Использование гидравлического канала связи для оперативного контроля притока флюида в скважину /Аветов Р В, Чудновский Д.М., Григорьев В С, Юн О.Я.// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2000, №10. - С. 25-30.

3. Предупреждение, обнаружение и ликвидация газонефтеводопроявлений /Григорьев В.С., Юн О.Я.// В кн.: «Предупреждение, обнаружение и ликвидация газонефтеводопроявлений»: Курс лекций. В 3-х т. /Под ред. Аветисова А.Г., Яковенко Н.А., Блохина О.А., Чудновского Д.М. - Краснодар, ООО «Промсвещение-Юг», 2003. - Т. 1.- С. 188-264.

4. Практикум по курсу лекций «Предупреждение, обнаружение и ликвидация газонефтеводопроявлений» /Гергель А.П., Григорьев В.С., Хлебников С.Р., Юн О.Я // В кн.: «Предупреждение, обнаружение и ликвидация газонефтеводопроявлений: Курс лекций. В 3-х т. /Под ред. Аветисова А.Г., Яковенко Н.А., Блохина О.А., Чудновского Д.М. - Краснодар, ООО «Просвещение-Юг», 2003. -Т. 3. - С. 12-96, 109-133.

5. Юн О.Я. Комплексный подход к оценке фонтаноопасности при строительстве нефтяных и газовых скважин. – «Гипотезы, поиск, прогнозы». (Сб. науч. тр.), вып. 16. НТЦ ООО «Кубаньгазпром», 2003. - С. 37-46.

6. Юн О.Я. Влияние горно-геологических условий на уровень фонтаноопасности при строительстве нефтяных и газовых скважин. – «Гипотезы, поиск, прогнозы». (Сб. науч. тр.), вып. 17. НТЦ ООО «Кубаньгазпром», 2003. - С. 120-139.

№ 17489

РНБ Русский фонд

2006-4
16724

Подписано к печати 30 08 05 г.

Формат 60x84 1/16 Усл. п. л. 1,1. Уч.-изд. л. 0,8.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ № 556 Тираж 100 экз.

ГОУЗПО «Северо-Кавказский государственный технический университет»

355029, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2

Издательство ГОУВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет»

Отпечатано в типографии ГОУВПО «СевКавГТУ»