

На правах рукописи



ЗЕМЛЯНОЙ АЛЕКСАНДР АНДРЕЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗОЛЯЦИИ
ВОДОПРИТОКОВ В СКВАЖИНАХ
С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ОКОНЧАНИЕМ**

Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2016

Работа выполнена на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин»
Тюменского государственного нефтегазового университета

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Голофаст Сергей Леонидович

Официальные оппоненты: **Бекетов Сергей Борисович**
доктор технических наук, профессор кафедры
геофизических методов поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых
ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский
федеральный университет»

Стрижнев Владимир Алексеевич
кандидат технических наук, главный
научный сотрудник отдела экспертизы
ООО «Уфимский научно-технический центр»

Ведущая организация: Филиал Общества с ограниченной
ответственностью "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг"
«КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени

Защита диссертации состоится «07» апреля 2016 г. в 14:30 часов на
заседании диссертационного совета Д 212.289.04. при ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062,
Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте
www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан «___» февраля 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время большинство месторождений Западной Сибири находятся на поздних стадиях разработки, для которых характерными являются низкие пластовые давления и высокая обводненность продукции скважин. Это приводит к снижению рентабельности эксплуатации скважин, увеличению затрат на отделение попутно добываемой воды, увеличению скорости коррозии внутрискважинного оборудования. Новые месторождения, как правило, имеют сложное строение и характеризуются высокой неоднородностью. Применение скважин с горизонтальным окончанием является одним из эффективных методов разработки таких месторождений. Однако, несмотря на то, что на начальном этапе их эксплуатации достигаются высокие дебиты нефти, в дальнейшем возникают осложнения, связанные с формированием локальных прорывов воды в горизонтальный участок скважины, препятствующих достижению проектной нефтеотдачи.

Большинство применяемых технологий ограничения водопритока в скважину, различающихся применяемыми изоляционными составами и механизмом закупоривания пористой среды, разрабатывались более 20 лет назад применительно к условиям, когда энергия пласта была высока. При доставке в призабойную зону пласта (ПЗП) растворов с высокой плотностью они позволяли нивелировать избыточное гидростатическое давление, создаваемое в процессе глушения. В условиях пониженных пластовых давлений применение данных технологий приведет к потере высокопроницаемых пропластков и снижению фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пласта после ремонта, а в скважинах с горизонтальным окончанием – к значительным осложнениям при их дальнейшей эксплуатации. В то же время, существенно повысить эффективность проведения водоизоляционных работ в отличие от традиционных методов ремонта позволяют колтубинговые технологии, неоспоримым преимуществом которых является как возможность спуска заливочной колонны гибких труб (ГТ) непосредственно в интервал изоляции горизонтального ствола, так и перемещения ее в процессе закачки составов. Однако конструкционные особенности колтубинговых установок и, особенно, малый проходной диаметр

гибких труб накладывают ограничения на реологические свойства применяемых жидкостей и режимы их закачивания в скважину. Кроме того, при подборе водоизоляционных составов, необходимо обеспечить такой уровень взаимодействия между компонентами технологических жидкостей, при котором будет достигнута не только требуемая прочность и водонепроницаемость экрана, но и его стабильность во времени.

Таким образом, разработка технологии проведения водоизоляционных работ в скважинах с горизонтальным окончанием на основе современных технических средств и материалов, с учетом особенностей фильтрации флюидов в нефте-, газо- и водонасыщенные участки пласта на сегодняшний день является весьма актуальной задачей.

Степень разработанности. Изучению проблем обводнения скважин с горизонтальным окончанием посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых и специалистов. Исследованием проблем водоизоляции занимались Андреев В.Е., Будников В.Ф., Булатов А.И., Зозуля Г.П., Нифонтов Ю.А., Котенев Ю.А., Eoff L., Lakatos I., Lane R.H. и др. Вопросами совершенствования технологий и материалов, применяемых для проведения водоизоляционных работ занимались такие ученые, как Агзамов Ф.А., Клещенко И.И., Кустышев А.В., Рогачев М.К., Стрижнев К.В., Рябоконец С.А., Уметбаев В.Г., Шарафутдинов З.З., Ягафаров А.К. и др. Результаты исследования проблем эксплуатации горизонтальных скважин приведены в работах Пилатовского В.П., Проселкова Ю.М., Табакова В.П., Телков А.П., Щурова В.И., Vadu D.K., Joshi S.D., Odeh A.S. и др. Совершенствованию колтюбинговых технологий посвящены работы Ахметова А.А., Блинова Ю.И., Груздиловича Л.М., Зикеева В.Н. и др.

Цель работы. Повышение эффективности водоизоляционных работ в скважинах с горизонтальным окончанием путем совершенствования колтюбинговой технологии ограничения водопритока.

Объект исследования – процесс ограничения водопритока в призабойной зоне продуктивного пласта.

Предмет исследования – технологии, обеспечивающие ступенчатую изоляцию водопритока в скважину.

Основные задачи исследования

1. Определить границы применения водоизоляционных составов для проведения изоляционных работ в горизонтальных стволах скважин на основе колтюбинговых технологий;
2. Выявить факторы, определяющие эффективность проведения водоизоляционных работ путем изучения особенностей процесса фильтрации дисперсных систем в проницаемые среды;
3. Установить границы применимости водоизоляционных составов различных типов в зависимости от фильтрационно-емкостных свойств пласта;
4. Разработать технологию ремонтно-изоляционных работ с применением колтюбинговых установок для скважин с горизонтальным окончанием.

Научная новизна

1. Выявлены закономерности изменения реологических свойств водоизоляционного состава на основе этилсиликата ЭТС-40 и гидрофобной кремнийорганической жидкости ГКЖ-11Н в зависимости от концентрации исходных компонентов и градиента скорости сдвига, на основе которых разработана технология водоизоляционных работ с использованием гибких труб малого диаметра;
2. Определены границы применимости водоизоляционных составов различных типов, исходя из возможности их фильтрации в проницаемые среды без нарушения сплошности структуры изоляционной жидкости;
3. Обоснована последовательность применения водоизоляционных жидкостей в зависимости от гранулометрического состава дисперсной фазы раствора и распределения проводящих каналов продуктивного пласта по размерам.

Теоретическая и практическая значимость

1. Разработан водоизоляционный состав селективного действия, реологические характеристики которого позволяют прокачивать его через гибкие трубы колтюбинговой установки;
2. Определены технические и технологические требования к составу и свойствам водоизолирующих жидкостей с учетом дискретности их состава и прочности формируемого водоизоляционного экрана;

3. Определены технологические границы применения изоляционных составов для ведения водоизоляционных работ с использованием колтюбинговых установок при различных ФЕС пласта;

4. Разработана технология проведения ремонтно-изоляционных работ в эксплуатационных скважинах с горизонтальным окончанием, позволяющая производить ступенчатую изоляцию интервалов водопритока.

Методология и методы исследования. При выполнении работы применялись экспериментальные методы исследования реологических и физико-механических свойств водоизоляционных составов, методы планирования эксперимента, методы математического моделирования процессов фильтрации жидкости в призабойной зоне пласта и ее течения в гибких трубах.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Рецепттура водоизоляционного состава на основе ЭТС-40 и ГКЖ-11Н, обеспечивающая селективные водоизоляционные свойства и реологические характеристики, требуемые для осуществления технологических операций с применением гибких труб малого диаметра;

2. Управление процессом фильтрации изоляционных жидкостей и изменение фильтрационно-емкостных свойств проницаемой среды определяется состоянием связей в структуре жидкости и дискретностью применяемого водоизоляционного состава.

3. Технология многоступенчатого последовательного закачивания изоляционных жидкостей, позволяющая повысить эффективность водоизоляционных работ в горизонтальном стволе скважины.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих международных и межрегиональных научно-практических и научно-технических конференциях: Молодежном инновационном конвенте Уральского федерального округа и Финального отбора победителей программы «У.М.Н.И.К.» в рамках Конференции «Молодежная наука – экономике знаний» в 2011 и 2012 годах; VII Всероссийской научно-технической конференции «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского Мегабассейна» посвященной 100-летию Н.К. Байбакова (2011); VI

международной научно-технической конференции «Современные технологии для ТЭК Западной Сибири» (2012); Конкурсе инновационных проектов в сфере нефтегазовой отрасли в рамках Тюменского международного инновационного форума НефтьГазТЭК в 2012, 2013 и 2014 годах; X Международной конференции по мерзлотоведению «Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире» (2012); Международной научно-технической конференции «Нефть и газ Западной Сибири» (2013); XVIII Научно практической конференции молодых ученых и специалистов «ТюменНИИгипрогаз» «Проблемы развития газовой промышленности Сибири» (2014); II Международной научно-практической конференции «Инновации и исследования в транспортном комплексе» (2014).

По результатам работы получено два патента на изобретение (Патент № 2529080 РФ, Патент № 2534555 РФ).

Публикации. Соискатель имеет 41 печатную работу из них по теме диссертации 23, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, основных выводов и рекомендаций, списка сокращений и списка литературы из 97 наименований. Работа изложена на 125 страницах машинописного текста, включая 39 рисунков и 9 таблиц.

Автор выражает благодарность генеральному директору ООО «Корэтест сервис» Евгению Аркадьевичу Романову, а также сотрудникам компании за помощь в организации проведения исследований фильтрационно-емкостных свойств горных пород на образцах кернов; д.т.н. профессору кафедры химической технологии композиционных и вязущих материалов РХТУ им. Д.И. Менделеева Юрию Романовичу Кривобородову, а также д.т.н. профессору кафедры бурения нефтяных и газовых скважин УГНТУ Фариту Акрамовичу Агзамову за консультации, полученные во время выполнения работы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, приведены основные задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные защищаемые положения и их апробация.

Первый раздел посвящен анализу существующих технологий ремонтно-изоляционных работ (РИР) в скважинах.

Основные задачи, решаемые при выборе технологии РИР, должны включать в себя подбор компонентного состава изоляционной жидкости, а также обеспечение ее доставки в пласт на заданную глубину при определенном перепаде давления. Особую сложность вызывает проведение ремонтно-изоляционных работ в горизонтальном участке ствола скважины, где высокую значимость приобретает сохранение ФЕС пласта и, как следствие, возникает проблема обеспечения селективной изоляции определенных интервалов водопритока. Применение в данном случае традиционных технологий с использованием колонны насосно-компрессорных труб малоэффективно. Требуемого результата можно достичь применением колтюбинговых установок, которые позволяют сократить время проведения работ, а также повысить их эффективность за счет своих конструктивных и технологических преимуществ.

Источник обводнения, геологическое строение и фильтрационно-емкостные свойства коллектора определяют выбор изоляционного материала и, как следствие, технологию его закачивания в пласт. Несмотря на многообразие селективных методов и материалов, различающихся механизмом закупоривания пористой среды, наибольшее предпочтение на сегодняшний день отдается неселективным методам изоляции с применением химических реагентов, отверждающихся в полном объеме. Однако технологии РИР, основанные на применение таких материалов, не всегда позволяют достичь желаемого результата. Так, например, цементные растворы практически не проникают в поры пласта при любых перепадах давления, следовательно, их использование не может гарантировать создания надежного водоизоляционного экрана. Применение многокомпонентных гелеобразующих составов ограничено из-за недостаточной стабильности и прочности формируемого экрана, а также возможной деструкции при продавливании их в пласт.

Важным моментом при проведении РИР является выбор технологии закачивания изоляционных составов в пласт с учетом геолого-физических условий, применяемого оборудования и материалов. Применение колтюбинговых установок, не смотря на их преимущества при проведении работ в горизонтальных стволах

скважин, накладывает дополнительные ограничения, связанные с малым проходным сечением гибких труб и, как следствие, высокими потерями давления. В связи с этим, необходимо предъявлять дополнительные требования к свойствам водоизоляционных составов, которые должны обеспечивать достаточную текучесть при прокачивании через гибкие трубы и, при этом, сохранять способность формирования прочного водоизоляционного экрана непосредственно в пласте.

Проведенный в первом разделе анализ позволил оценить состояние ремонтно-изоляционных работ в скважинах в России и за рубежом. Кроме того, сформулированы основные направления совершенствования технологии водоизоляционных работ в горизонтальных участках ствола скважин.

Во втором разделе диссертации рассмотрена специфика применения колтюбинговой установки для проведения водоизоляционных работ в горизонтальных стволах скважин. Приведен детальный анализ циркуляционной системы колтюбинговой установки и установлено влияние на характер течения жидкости в ГТ различных факторов, таких как реологические показатели прокачиваемого флюида (плотность и вязкость), технические характеристики ГТ (диаметр, длина, шероховатость) и режимно-технологические параметры процесса закачивания (давление нагнетания и объемный расход).

Первостепенное значение при выборе правильного подхода к определению потерь давления в циркуляционной системе имеет тип применяемого флюида, к которому при использовании ГТ необходимо предъявлять дополнительные требования. Вследствие малого диаметра проходного сечения гибких труб возникают большие гидравлические потери давления, поэтому составы должны обладать вязкостью, обеспечивающей возможность их прокачки через всю длину ГТ при давлении нагнетания, не превышающем предела прочности материала труб. Кроме того, необходимо обеспечить возможность регулирования сроков схватывания или времени полимеризации, применяемых технологических жидкостей во избежание закупорки ГТ в процессе закачивания и, как следствие, повышения давления, приводящему к разрушению гибкой трубы.

При проведении технологических операций в скважине необходимо создавать на забое давление, которое в общем случае будет определяться геологическими

параметрами продуктивного пласта и видом проводимых ремонтных работ. Для обеспечения требуемого перепада давления необходимо определить взаимосвязь между параметрами, характеризующими поток жидкости в ГТ. Установлено, что основное влияние на характер течения жидкости в циркуляционной системе колтюбинговой установки оказывают: реологические показатели прокачиваемого флюида, технические характеристики ГТ, а также режимно-технологические параметры процесса закачивания. В диссертационной работе, расчетным путем, получены взаимозависимости этих параметров, позволяющие определить граничные условия для выбора оптимальных параметров технологических процессов, связанных с прокачкой жидкости через ГТ, исходя из необходимости обеспечения неразрывности потока (суммарные потери давления ΔP должны превышать гидростатическое давление $P_{гст}$) и выполнения условия сохранения прочности трубы (потери давления ΔP должны быть меньше максимального давления P_{max} , определяемого прочностью материала труб). С учетом полученных ограничений, при известных значениях плотности и вязкости жидкости, а также режима течения, можно установить оптимальную объемную скорость закачивания, которая обеспечит необходимый перепад давления на забое для проведения конкретной технологической операции.

Установлено, что водоизоляционный состав¹ на основе ЭТС-40 и ГКЖ-11Н обладает селективным действием, однако применение его ограничено по причине роста реологических показателей, скорость которого во времени зависит от соотношения компонентов. Поэтому целью исследований, выполненных в диссертации, являлось определение компонентного состава, обеспечивающего селективные водоизоляционные свойства и требуемые реологические характеристики композиции при ее прокачке через гибкие трубы малого диаметра.

Одним из основных требований, предъявляемым к водоизоляционным составам, изменяющим свою структуру во времени, является обеспечение превышения сроков начала их схватывания или гелеобразования над временем прокачки через ГТ. На основании гидравлического расчета установлено, что время прокачки исследуемого состава через колонну гибких труб длиной 3500 м и

¹ Патент № 2529080 РФ – «Селективный состав для ремонтно-изоляционных работ в нефтяных и газовых скважинах»

диаметром $38,1 \div 60,3$ мм составляет $10 \div 15$ мин, следовательно хорошая подвижность составов ($\mu \leq 40 \div 50$ мПа·с) должна сохраняться в течение $40 \div 60$ минут.

Определение реологических свойств водоизолирующего состава на основе ЭТС-40 и ГКЖ-11Н проводилось на ротационном вискозиметре Ofite Model 900. Изменение вязкости исследовалось при скорости сдвига до 130 с^{-1} , что соответствует скорости течения состава при его прокачивании по ГТ. Эксперименты проводились при температурах 30° , 50° и 70°C , что соответствует средним показателям по пластам Западной Сибири. Искомым параметром при проведении исследований являлось время, за которое динамическая вязкость состава становится больше 50 мПа·с. Графическая иллюстрация результатов проведенных экспериментов приведена на рисунке 1.

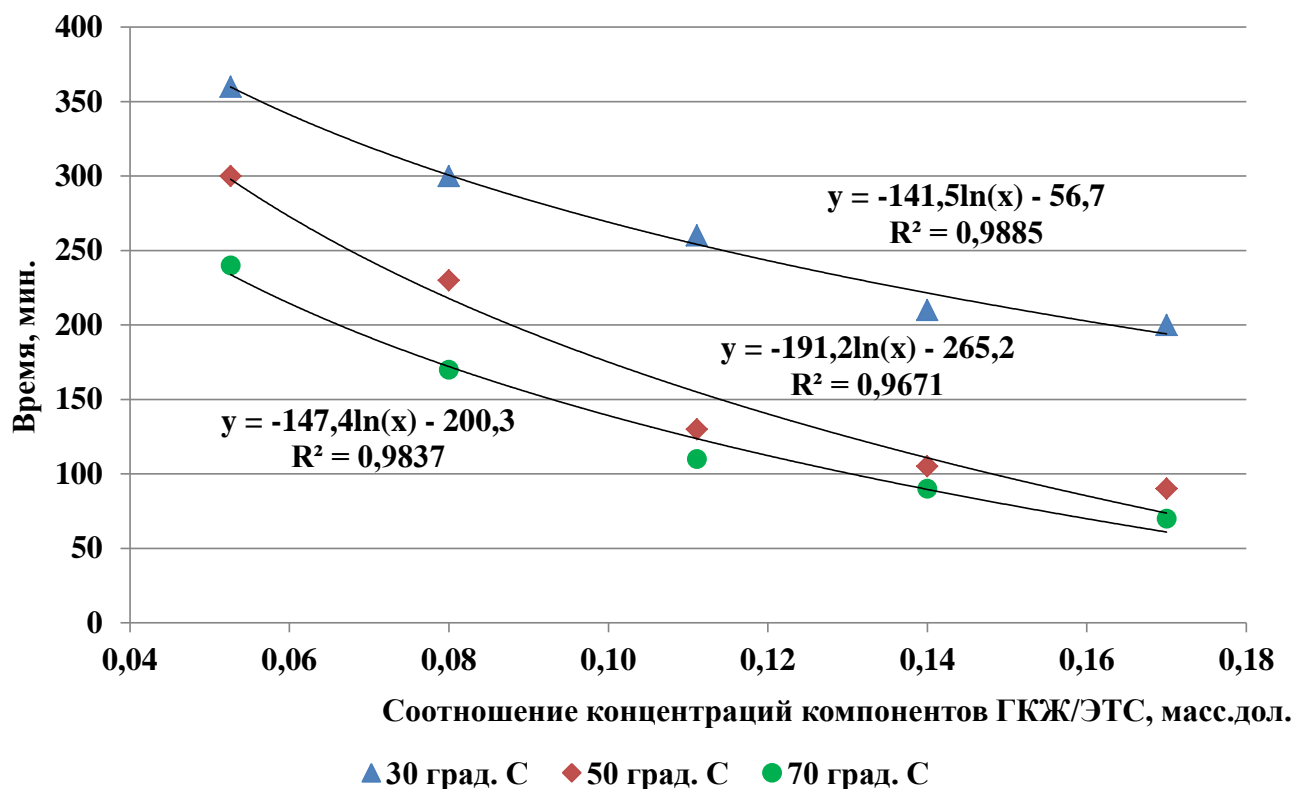


Рисунок 1 – Зависимость времени набора вязкости изоляционного состава до 50 мПа·с от соотношения концентраций компонентов ЭТС-40 и ГКЖ-11Н

Рост вязкости составов обусловлен протеканием процессов поликонденсации. Заметное ее увеличение наблюдается через промежуток времени (латентный период), продолжительность которого зависит от соотношения компонентов, а также от температуры. Кроме того установлено, что на время полимеризации оказывает влияние скорость сдвига. Причем в

начальный период увеличение скорости сдвига приводит к разрушению структуры состава и его частичной полимеризации (не в полном объеме). Увеличение скорости сдвига через промежуток времени ≥ 30 мин не приводит к значительному росту вязкости и состав сохраняет текучесть вследствие образования достаточно прочных водородных связей.

Проведенные исследования позволили определить границы применения водоизоляционного состава на основе ЭТС-40 и ГКЖ-11Н при различном соотношении исходных компонентов для наиболее распространенных в Западной Сибири типоразмеров ГТ.

Третий раздел диссертации посвящен исследованию особенностей процесса фильтрации водоизоляционных составов в проницаемые среды.

Продуктивные пласты месторождений Западной Сибири представлены терригенными отложениями, для которых характерным является замещение коллекторов, представленных песчаниками и алевролитами, глинистыми породами, что обуславливает литологическую неоднородность. Результаты исследований механизма образования водоизолирующей массы в поровых каналах позволяют сделать вывод о том, что ограничение движения вод в пласте происходит в результате экранирования главным образом крупных пор и снижения «живого» сечения средних пор коллектора при неизменном состоянии микропор, что должно привести к снижению степени неоднородности продуктивного пласта по проницаемости.

Исследования основных литологических разностей пород пласта АВ1(3) Самотлорского месторождения методами ртутной порометрии позволили охарактеризовать особенности строения их порового пространства, а исследования методом ультрацентрифугирования позволили определить капиллярные характеристики пород пласта – диапазон изменения размеров фильтрующих поровых каналов и содержание субкапиллярных пор, контролирующих остаточную водонасыщенность. Выявлено, что данный коллектор характеризуется неоднородностью строения порового пространства, о чем свидетельствуют гистограммы распределения поровых каналов по размерам (рис. 2, 3), не имеющие одного четко выраженного максимума.

Исследованные модели пористых сред пласта АВ1(3) имеют относительно малую удельную поверхность. Таким образом, размерный ряд проводящих каналов коллектора определяет неравномерность его заполнения изоляционным материалом. Данный факт необходимо учитывать при планировании проведения водоизоляционных работ, обеспечивая выбор водоизоляционных жидкостей, подходящих по своему гранулометрическому составу для конкретного коллектора.

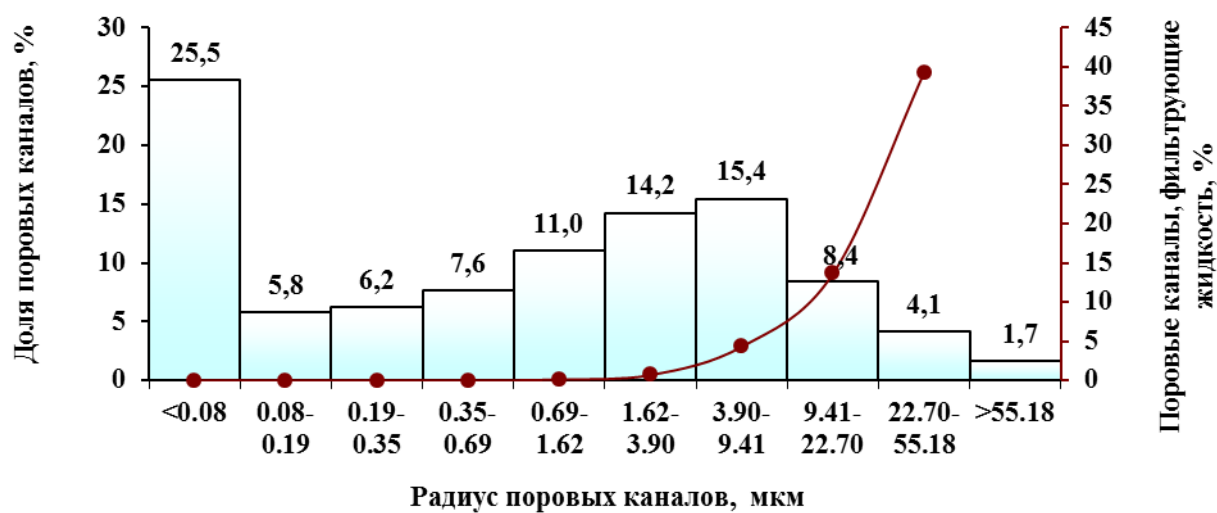
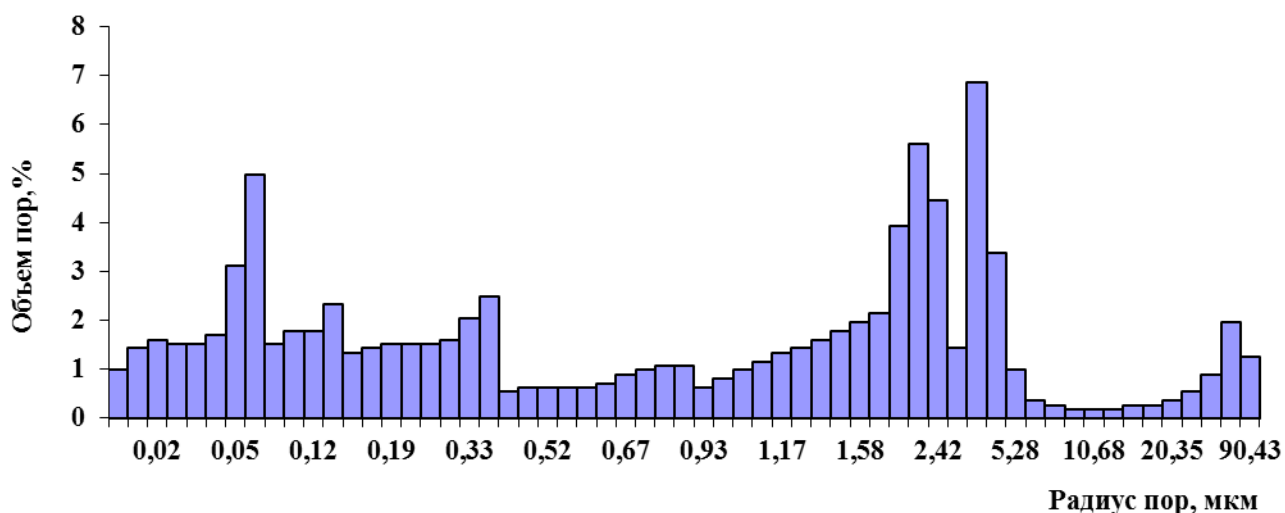


Рисунок 2 – Распределение поровых каналов по размерам, полученное методом ультрацентрифугирования, и их участие в фильтрации нефти,



дисперсионной средой является вода, а дисперсной фазой – самые различные компоненты. Опираясь на положение о дискретности дисперсных систем и полиразмерности проводящих каналов было принято решение исследовать процессы фильтрации через проницаемые среды грубодисперсных (тампоначный портландцемент) и тонкодисперсных компонентов (ОТДВ Mikrodur и диспергированный бентонитовый глинопорошок). Прочность структуры изоляционной жидкости на основе применяемых компонентов регулировалась добавкой биополимера ХВ, что позволило при проведении экспериментов получать системы с различной прочностью связей между компонентами изоляционного состава в объеме жидкости, а также с различным распределением дисперсной фазы по размерам.

С целью оценки влияния дискретности исследуемых дисперсных систем на возможность их фильтрации в проницаемые среды и обоснования границ их применения был проведен анализ данных о гранулометрическом составе проб портландцемента ПЦТ-I-100 и ОТДВ Mikrodur, полученных на лазерном микроанализаторе (рис.4).

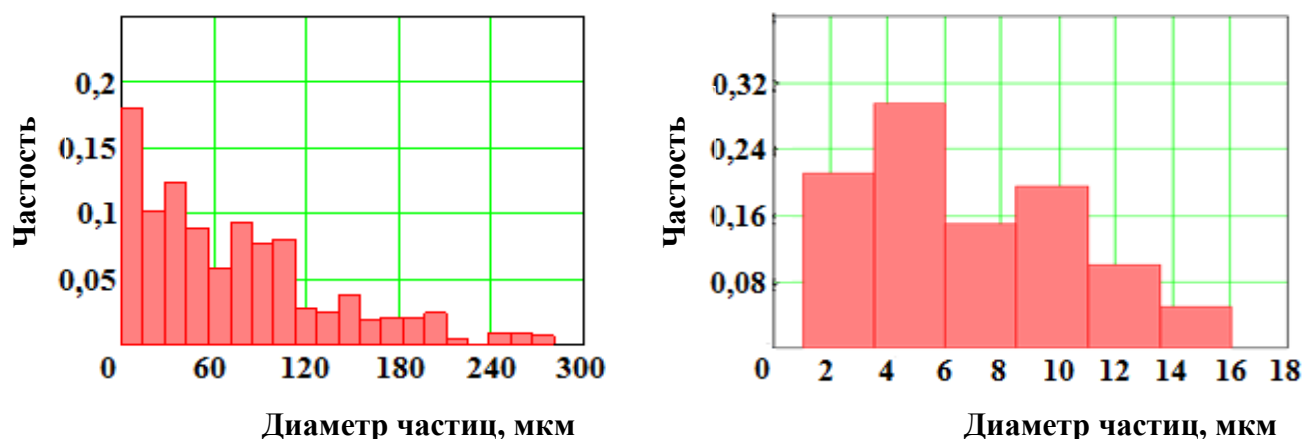


Рисунок 4 – Гранулометрический состав проб (а) – портландцемента ПЦТ-I-100, (б) – ОТДВ Mikrodur (марка S)

Совмещение полученных результатов гранулометрического анализа водоизоляционных материалов с результатами исследования кернов пласта АВ1(3) позволяет определить диапазон значений диаметров поровых каналов, изолируемых конкретными составами, а соответственно целесообразность и эффективность их применения. Кроме того, на основании анализа факторов, влияющих на процесс фильтрации водоизоляционного состава в пласт,

установлено, что важными критериями при подборе технологии водоизоляционных работ являются стабильность и прочность создаваемого изоляционного экрана, которые определяют минимально необходимую глубину продавливания изоляционного состава в пласт, позволяющую исключить влияние депрессии при последующей эксплуатации скважины.

С целью определения максимального градиента давления, при котором сохраняется устойчивость создаваемого водоизоляционного экрана, был проведен ряд экспериментов на установке для исследования нарушений продуктивных характеристик горных пород. На основании полученных экспериментальных данных, приведенных в таблице 1, был определен минимально необходимый радиус продавки исследуемых составов в пласт в зависимости от размеров поровых каналов.

Таблица 1. Результаты исследований по определению устойчивости водоизоляционных экранов к проникновению пластовой воды

№ п/п	Состав раствора, мас. %	Максимальный градиент давления, при котором сохраняется устойчивость экрана, МПа/м
1	ПЦТ-I-100 – 66,7 Вода – 33,3	6,8
2	ОТДВ Mikrodur – 50 Вода – 50	10,7
3	Бентонитовый глинопорошок ПБМБ – 13,7 Na ₂ CO ₃ – 0,4 Биополимер ХВ – 0,3 Вода – 85,6	12,2
4	ЭТС-40 – 85 ГКЖ-11Н – 15	2,8

Учитывая, что в реальности, при проведении водоизоляционных работ на скважине, имеется возможность регулировать только перепад давления, необходимо подбирать оптимальное время продавливания водоизоляционного состава в пласт в зависимости от его прочности и времени отверждения. Приведенные результаты исследований позволили определить данные зависимости для исследуемых составов (рисунок 5).

Анализ данных, представленных в таблице 1 и на рисунке 5, позволяет сделать вывод о том, что прочность структуры фильтрующейся жидкости

определяет сопротивления при ее движении в поровых каналах и, как следствие, время, которое не должно превышать время отверждения (полимеризации) составов. При этом более низкая прочность изоляционного состава определяет необходимость продавливания его на большую глубину, обеспечивающую устойчивость создаваемого экрана при депрессиях, возникающих при добыче.

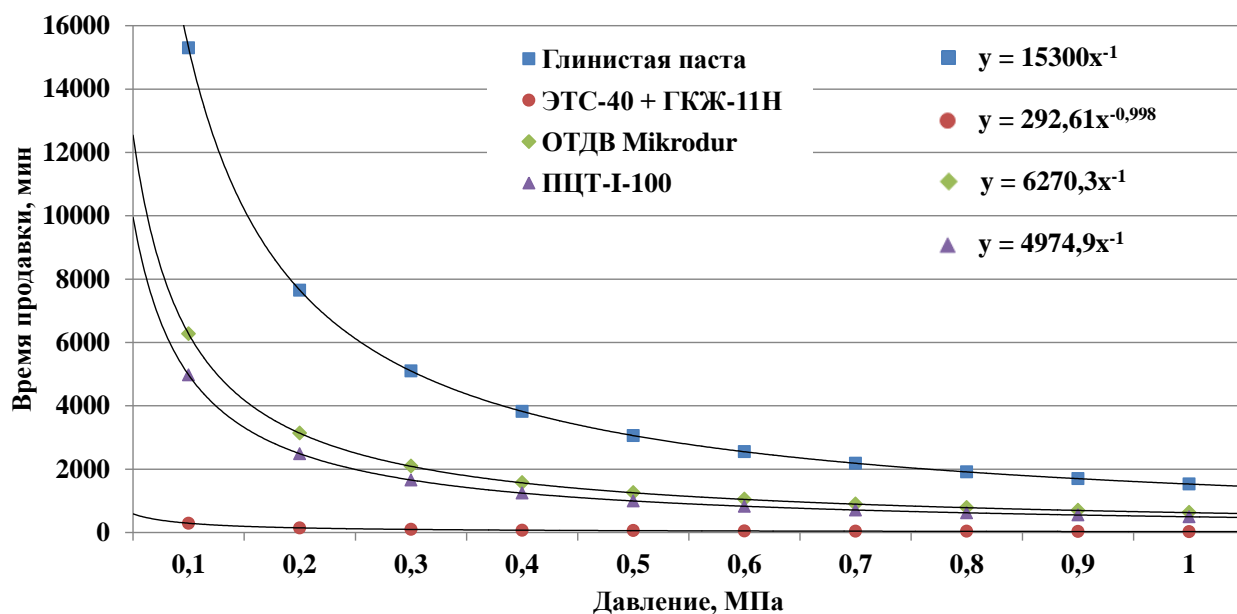


Рисунок 5 – Зависимость времени продавливания исследуемых изоляционных составов от перепада давления

Очень важной качественной характеристикой, определяющей добычу углеводородов, является проницаемость пласта. Однако для планирования и проведения водоизоляционных работ, связанных с продавливанием технологических жидкостей вглубь пласта и формирования там изоляционного экрана, гораздо большее значение приобретает размер поровых каналов. Данный параметр должен быть определяющим при подборе технологии проведения РИР, потому как одним из основных условий создания прочного водоизоляционного экрана является доставка на заданную глубину изоляционной жидкости с минимальным нарушением ее целостности. Вследствие этого появилась необходимость проведения исследований, позволяющих оценить возможность применения водоизоляционных составов различного типа в зависимости от проницаемости и размера поровых каналов пласта.

В проведенных экспериментальных исследованиях в качестве фильтрационной среды применялся специально отмытый песок, по фракционному

составу, относящийся к мелкому и среднему, что позволило смоделировать геологические условия характерные для терригенных и трещиновато-поровых коллекторов. Процесс фильтрации исследуемых составов через проницаемую среду моделировался на модернизированной установке Chandler Model 7120. Исследуемые составы и их реологические свойства, для определения которых применялся ротационный вискозиметр Ofite Model 900, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Исследуемые водоизоляционные составы и их реологические свойства

№ п/п	Водоизоляционный состав	Обозначение	Реологические свойства	
			Пластическая вязкость, мПа·с	Динамическое напряжение сдвига, дПа
1.	ПЦТ-I-100 + Вода В/Ц=0,5	Раствор #1	15,5	155
2.	ПЦТ-I-100 + Вода + Биополимер ХВ В/Ц=0,5	Раствор #2	12,7 ÷ 20,3	122 ÷ 298
3.	ОТДВ Mikrodur + Вода В/Ц=1	Раствор #3	13 ÷ 14	190 ÷ 200
4.	ОТДВ Mikrodur + Вода + Биополимер ХВ В/Ц=1	Раствор #4	18 ÷ 20	270 ÷ 285
5.	8% раствор на основе бентонитовой глины + Биополимер ХВ	Раствор #5	2,6 ÷ 10,7	450 ÷ 500
6.	ЭТС-40 + ГКЖ-11Н	Раствор #6	4 ÷ 5	0 ÷ 1

Дисперсная система проявляет свойства сплошной среды или является дискретной в зависимости от прочности связей и распределения их величины по ее объему. Приложение к ней напряжения сдвига, сопоставимых с прочностью связей, способствует разрушению ее структуры и переводит ее из сплошной в дискретную. Прикладываемое напряжение сдвига оценивается по значению градиента сдвига. Поэтому, для определения зависимости изменения проникающей способности водоизоляционных составов от скорости сдвига, фильтрация осуществлялась через песчаную упаковку с различным условным диаметром поровых каналов при разных перепадах давления, выбор которых производился с учетом выполнения условия обеспечения равномерности распределения состава в пористой структуре.

В таблице 3, приведена информация о результатах проведенных исследований, которая позволяет оценить при каких размерах каналов и значениях репрессии система является сплошной, а при каких нет. Таким образом, проведенные исследования позволяют оценить эффективность применения состава в зависимости от различных геологических и технологических условий.

Таблица 3. Границы применимости водоизоляционных составов в зависимости от фильтрационно-емкостных свойств коллектора

№ п/п	Условный диаметр поровых каналов, мм	Водоизоляционные составы, применимые к данным ФЕС при перепаде давления ΔP		
		$\Delta P = 0,7$ МПа	$\Delta P = 0,45$ МПа	$\Delta P = 0,2$ МПа
1.	0,203 ÷ 0,220	Раствор #2 Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6	Раствор #1 Раствор #2 Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6	Раствор #1 Раствор #2 Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6
2.	0,148 ÷ 0,161	Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6	Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6	Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6
3.	0,100 ÷ 0,108	Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6	Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6	Раствор #3 Раствор #4 Раствор #5 Раствор #6
4.	0,063 ÷ 0,068	Раствор #6	Раствор #5 Раствор #6	Раствор #3 Раствор #5 Раствор #6
5.	0,024 ÷ 0,026	Раствор #6	Раствор #6	Раствор #6

В качестве основного результата проведенных экспериментальных исследований можно выделить следующее – для повышения качества проводимых водоизоляционных работ необходимо обеспечить фильтрацию составов в проницаемый пласт на заданную глубину, при сохранении сплошности структуры жидкости. В целом, чем прочнее связи в составе раствора, тем предпочтительнее прохождение процесса фильтрации. Минимальное значение внутренней прочности структуры изоляционной жидкости, при котором не происходит ее разрушения, составляет 150÷200 дПа. Дополнительным условием обеспечения фильтрации с сохранением сплошности

структуры изоляционной жидкости, является соотношение фракционного состава дисперсной фазы раствора с размерами поровых каналов изолируемого участка пласта, а также регулирование скорости сдвига, путем изменения давления. При наличии горно-технологических условий, не позволяющих реализовать возможность по оптимизации технологии проведения работ с тем или иным изоляционным составом, следует предусмотреть возможность для ступенчатой изоляции зоны водопритока.

В четвертом разделе разработана технология [Патент № 2534555 РФ] ремонтно-изоляционных работ с применением колтюбинговых установок для скважин с горизонтальным окончанием, позволяющая произвести ступенчатую изоляцию притока пластовых вод. Схема, иллюстрирующая реализацию технологии, представлена на рисунке 6.

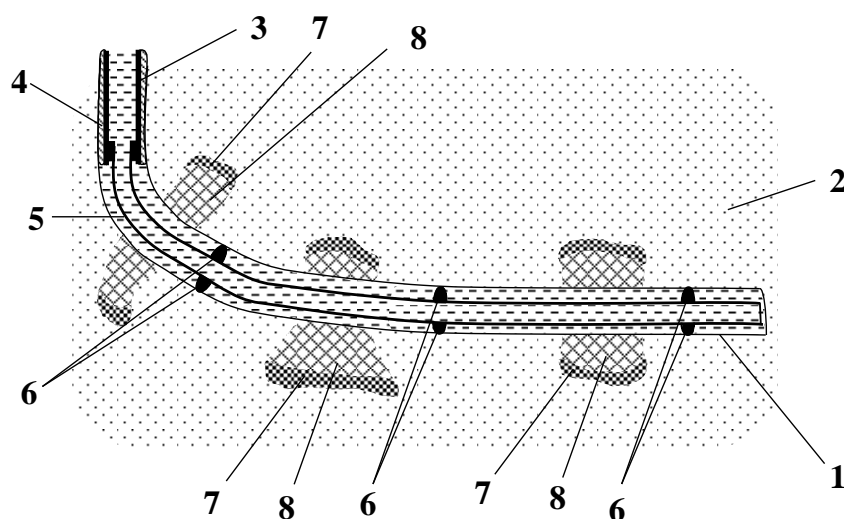


Рисунок 6 –
Технология проведения водоизоляционных работ в горизонтальном участке ствола скважины.

1 – горизонтальный участок ствола скважины; 2 – продуктивный пласт; 3 – эксплуатационная колонна; 4 – цементное кольцо; 5 – хвостовик; 6 – пакер; 7 – водонепроницаемый экран, созданный водоизоляционным составом №1; 8 – водонепроницаемый экран, созданный водоизоляционным составом №2.

Главной особенностью применяемой технологии является то, что производится последовательная изоляция каждого интервала водопритока, без воздействия на остальную часть ствола скважины, которая заполняется специальной блокирующей жидкостью. В качестве водоизоляционного состава может применяться, например, состав на основе ЭТС и ГКЖ, либо несколько составов, как селективного, так и неселективного действия, отличающихся реологическими характеристиками, которые обеспечат последовательное отключение источников

Главной особенностью применяемой технологии является то, что производится последовательная изоляция каждого интервала водопритока, без воздействия на остальную часть ствола скважины, которая заполняется специальной блокирующей жидкостью. В качестве водоизоляционного состава может применяться, например, состав на основе ЭТС и ГКЖ, либо несколько составов, как селективного, так и неселективного действия, отличающихся реологическими характеристиками, которые обеспечат последовательное отключение источников

обводнения, начиная с наиболее проницаемых. При этом вначале следует использовать составы с более коротким временем гелеобразования, которые снизят проницаемость или полностью отключат один из источников обводнения и позволят увеличить охват обводнившихся интервалов пласта при закачке последующих порций. Закачка и продавка водоизоляционных составов производится с одновременным перемещением ГТ вдоль изолируемого интервала, что способствует более равномерному их распределению в пласте. Применение данной технологии позволит повысить эффективность проведения РИР за счет снижения проницаемости и вовлечения в работу низкопроницаемых недренлируемых участков пласта.

Для обоснования эффективности применения РИР выполнены расчеты на цифровой фильтрационной модели пласта юрских отложений одного из месторождений Западной Сибири. Для проведения моделирования использована скважина с горизонтальным окончанием (длина вскрытого участка в пласте – 300 м, средняя проницаемость в зоне дренирования скважины – 13 мД). Согласно расчетам на четвертый год эксплуатации достигнуто критическое значение обводненности в результате образования «гребня» подошвенных вод (рис. 7А). Для предотвращения последствий обводнения в фильтрационной модели воспроизведены РИР по предлагаемой технологии (рис. 7Б). В результате получено снижение обводненности на 20 % от первоначального значения. Согласно результатам расчетов на фильтрационной модели в скважине получен прирост накопленной добычи нефти – 9 %, за 5 лет эксплуатации после проведения РИР.

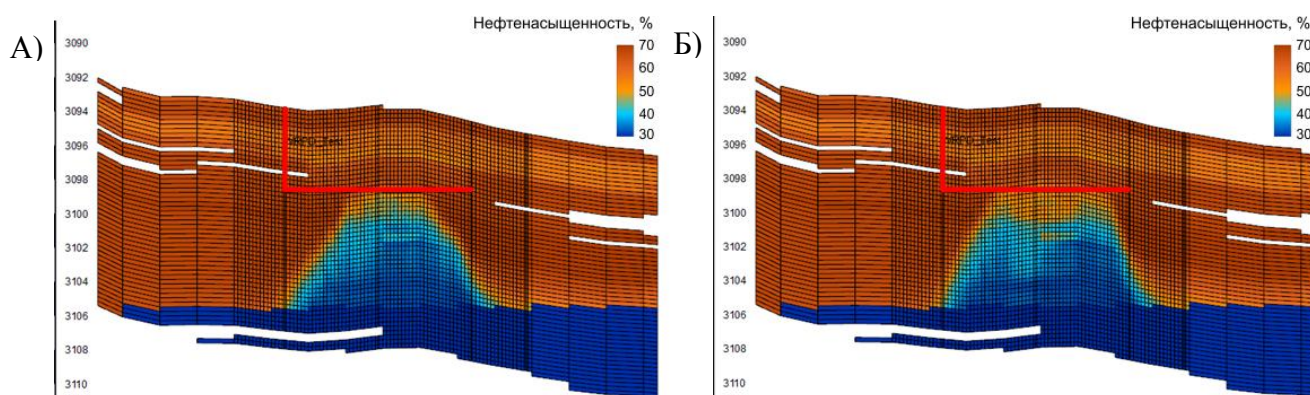


Рисунок 7 – Результаты моделирования процесса обводнения горизонтальной скважины: состояние прискважинной зоны (А) – до проведения РИР; (Б) – после проведения РИР

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Выявлены технологические ограничения, для применения водоизоляционных составов различного типа исходя из специфики проведения изоляционных работ на основе колтюбинговых технологий.

2. Прочность структуры изоляционной жидкости, выражаемая через динамическое напряжение сдвига, определяет глубину ее проникновения без разрушения в поровые каналы различного размера и максимальную депрессию, обеспечивающую эксплуатацию скважины без притока воды из изолированного интервала. Минимальное значение внутренней прочности структуры изоляционной жидкости, при котором не происходит ее разрушения, составляет $150 \div 200$ дПа.

3. Установлено, что диапазон значений диаметров поровых каналов, изолируемых при применении состава на основе ПЦТ-I-100, находится в пределах от 18 до 756 мкм, а состава на основе ОТДВ Mikrodur – в пределах от 6 до 45 мкм. В каналах диаметром менее 6 мкм возможно применение только состава на основе ЭТС-40 и ГКЖ-11Н. Применение глинистых паст ограничено величиной давления и требует значительной продолжительности процесса закачивания.

4. Установлено, что при размере поровых каналов от $0,1 \cdot 10^{-4}$ до 0,01 мм глубина продавливания изолирующей жидкости в пласт, необходимая для создания водоизоляционного экрана составляет:

- для ПЦТ-I-100 – от 0,0011 до 1,10 м;
- для ОТДВ Mikrodur – от 0,014 до 1,37 м;
- для глинистой пасты – от 0,0006 до 0,64 м;
- для ЭТС-40/ГКЖ-11Н – от 0,007 до 7,00 м.

5. Разработан способ поинтервальной изоляции притока пластовых вод в горизонтальных скважинах, позволяющий отключать отдельные участки водопритока без воздействия на остальную часть ствола.

**Основные опубликованные работы по теме диссертации
издания, рекомендованные ВАК**

1. Земляной, А.А. Применение колтюбинговых технологий для решения проблемных задач нефтегазодобывающих предприятий [Текст] / А.А. Земляной, В.А. Долгушин, Д.А. Шаталов, Г.П. Зозуля и др. // Бурение и нефть. – 2013. – № 4. – С.44-46.

2. Земляной, А.А. Особенности гидравлического расчета циркуляционной системы колтюбинговой установки [Текст] / А.А. Земляной // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2013. – № 10. – С.24-28.

3. Сызранцев, В.Н. Определение прочностных свойств стали гибких труб [Текст] / В.Н. Сызранцев, В.Н. Ильиных, А.А. Земляной, Г.П. Зозуля и др. // Территория нефтегаз. – 2013. – № 4. – С. 76-77.

4. Долгушин, В.А. Исследование и разработка расклинивающего материала с водоизолирующими свойствами для крепления трещин ГРП [Текст] / В.А. Долгушин, А.А. Земляной, С.Л. Голофаст, Д.С. Леонтьев // Известия вузов. Нефть и газ. – 2013. - № 4. – С. 44-49.

5. Земляной, А.А. Исследование влияния параметров технологических жидкостей на характер их течения в колтюбинговых трубах малого диаметра [Текст] / А.А. Земляной, Д.А. Шаталов, С.Л. Голофаст // Газовая промышленность. – 2014. - № 12. – С.90-93.

6. Земляной, А.А. Исследование гидравлических потерь давления в циркуляционной системе колтюбинга [Текст] / А.А. Земляной, Д.А. Шаталов, С.Л. Голофаст // Наука и техника в газовой промышленности. – 2014. - № 3. – С.18-26.

7. Земляной, А.А. Исследование процесса фильтрации водоизоляционных составов в проницаемые среды [Текст] / А.А. Земляной, С.Л. Голофаст, А.В. Трифонов, А.В. Белов, Е.Н. Козлов // Нефтяное хозяйство. – 2015. - №6. – С.72-75.

и другие издания

8. Земляной, А.А. Возможности и перспективы колтюбинга в нефтегазовом сервисе России [Текст] / А.А. Земляной, Г.П. Зозуля, А.В. Кустышев, В.А. Долгушин и др. // «Coiled Tubing Times». – 2012. – № 40. – С. 12-20.

9. Земляной, А.А. Анализ современного состояния проблемы повышения качества цементирования скважин [Текст] / А.А. Земляной, А.Н. Коротченко // Современные технологии для ТЭК Западной Сибири: сб.научн.тр. – Тюмень: «Печатник», 2012. – С. 3-5.

10. Долгушин, В.А. Результаты исследований составов на основе кремнийорганических соединений и совершенствование технологий их применения при производстве водоизоляционных работ [Текст] / В.А. Долгушин, А.А. Земляной, Г.П. Зозуля // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: сб.научн.тр. – Тюмень, ТюмГНГУ – 2012. – С.112-120.

11. Земляной, А.А. Определение закономерности течения жидкостей при ремонте скважин с использованием колтюбинга [Текст] / А.А. Земляной, А.В. Кустышев, С.Л. Голофаст // Coiled Tubing Times. – 2014. – № 49. – С. 50-54.

12. Zemlyanoy, A. Determinazione specificità delle perdite idrauliche a tubi a spirale di tubi di piccolo diametro [Текст] / A. Zemlyanoy, V. Dolgushin, S. Golofast // Italian Science Review. 2014; 4(13). PP. 517-524.

13. Zemlyanoy, A. Materiale di studio proppant con-isolanti acqua proprietà frattura mount [Текст] / A. Zemlyanoy, S. Golofast, D. Leontiev, V. Dolgushin // Italian Science Review. 2014; 10(19). PP. 151-158.