

*На правах рукописи*

**ЛИПАТОВ Александр Владимирович**



**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИКВИДАЦИИ  
ПОГЛОЩЕНИЙ В СКВАЖИНАХ ВЯЗКОУПРУГИМИ  
СОСТАВАМИ**

*Специальность 25.00.15 – Технология бурения и  
освоения скважин*

**А в т о р е ф е р а т**  
**диссертации на соискание учёной степени**  
**кандидата технических наук**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет».

*Научный руководитель –*  
кандидат технических наук, доцент

*Живаева Вера Викторовна*

*Официальные оппоненты:*

*Близнюков Владимир Юрьевич*

доктор технических наук, профессор, ПАО «НК «Роснефть», управление технологической экспертизы и прогнозирования департамента научно-технического развития и инноваций, руководитель проекта

*Блинов Павел Александрович*

кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра бурения скважин, доцент

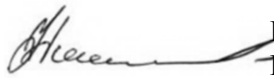
*Ведущая организация –* государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт»

Защита диссертации состоится 30 марта 2017 года в 17 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.02 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, дом 2, ауд. 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 30 января 2017 г.

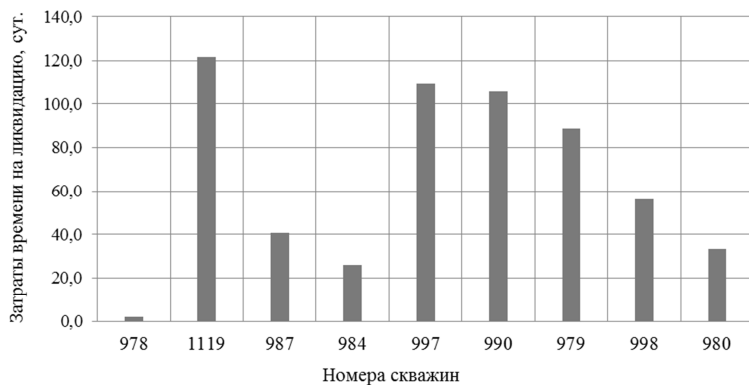
УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



НИКОЛАЕВ  
Николай Иванович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Проблема поглощений бурового раствора постоянно присутствует в средней полосе России. Это Оренбургская, Самарская области, Республика Башкортостан и Татарстан, а также в Западной Сибири – ЯНАО, ХМАО. Причины поглощений - поздняя стадия разработки месторождений, высокая проницаемость, кавернозность, трещиноватость пород. Как показывает опыт бурения скважин в Самарской области, на примере Кулешовского месторождения, наиболее часто встречающимися осложнениями являются поглощения бурового раствора в Татарском, Башкирском, Окском, Франском, Фаменском и Серпуховском ярусах с интенсивностью поглощения от незначительной  $1,5 \text{ м}^3/\text{час}$  до полной потери циркуляции. Также к основной проблеме бурения скважин в данном регионе относят обвалообразование в четвертичных и неогеновых отложениях Мячковского и Тульского горизонтах. На рисунке 1 представлена диаграмма затрат времени на борьбу с поглощениями на Кулешовском месторождении с 2012 по 2014 год. В среднем на ликвидацию затрачивалось 75 суток, а максимальное непроизводительное время на скважине №1119 составило более 120 суток. Это привело к удорожанию строительства скважин, так как на ликвидацию поглощений тратилось до  $1/3$  календарного времени работы буровых установок и применялись дорогостоящие методы борьбы с осложнениями, такие как намыв кольматирующих наполнителей в составе вязкоупругих составов и установка расширяющихся обсадных колонн. Поглощения без выхода циркуляции на Кулешовском месторождении приурочены к Фаменскому горизонту, данная порода представляет собой серые и темно-серые известняки, светло бурые и серые кристаллические доломиты с небольшими глинистыми вкраплениями.



*Рисунок 1 – Диаграмма затрат времени на борьбу с поглощениями на Кулешовском месторождении*

Таким образом, для улучшения качества строительства и снижения аварийности при бурении скважин необходимо повышение устойчивости горной породы к обвалообразованию и поглощению бурового раствора. Для этого в нефтегазовой промышленности существует метод закачки кольматанта под давлением в трещины скважины. Однако существует проблема некачественной кольматации трещин в раскрытом состоянии из-за выпадения кольматанта в ствол скважины. Поэтому в данной работе рассмотрены вопросы, направленные на улучшение данной технологии.

**Целью диссертационной работы** является предупреждение обвалообразования и поглощения бурового раствора при бурении скважин в трещиноватых горных породах.

**Идея работы** заключается в разработке кольматирующих вязкоупругих полимерных составов, отверждающихся в трещинах осложненного интервала скважин.

#### **Задачи исследования**

1. Анализ современных технологий и материалов в области предотвращения поглощений бурового раствора и обвалов стенок скважины;

2. Исследование различных теорий по подбору фракционного состава кольматанта и его влияния на закупоривание трещин в скважине, определение наиболее эффективного режима закачки кольматанта;

3. Разработка вязкоупругих составов для эффективной доставки кольматанта в трещины с последующим отверждением в зоне поглощения;

4. Расчёт полиномиального уравнения для подбора компонентов отверждаемого вязкоупругого состава;

5. Моделирование процесса раскрытия трещины в скважине с применением метода конечных элементов для определения зоны кольматации трещины, при которой повышается прочность ствола скважины;

6. Определение необходимого набора входных параметров для применения в математической модели расчёта прогнозируемой трещины;

7. Разработка математической модели раскрытия трещины, позволяющей определить расчётную ширину трещины на заданном удалении от стенки скважины и её объем, с учетом фильтрации промывочной жидкости в пласт.

**Методы научных исследований** включали в себя лабораторные и стендовые исследования, связанные с подбором композиций отверждаемых вязкоупругих составов и математическое моделирование процессов трещинообразования в скважине.

**Научная новизна работы** заключается в разработке математической модели, учитывающей механические свойства буримых горных пород, радиус скважины, эффективное давление и фильтрацию закачиваемой жидкости, для определения ширины трещины на заданном расстоянии от центра скважины и подбора фракционного размера частиц кольматанта.

**Защищаемые научные положения:**

1. Разработанные вязкоупругие составы на основе полиакриламида при концентрации от 0,2 до 1% и отвердителя в

количестве 1-100 частей позволяют подобрать необходимое время отверждения вязкоупругого состава с кольматантом для его закачки в зону поглощения и сшивания в трещине.

2. Математическая модель, учитывающая механические свойства горных пород, минимальное горизонтальное напряжение, забойное давление и радиус скважины, позволяет определить расчётную ширину трещины на заданном удалении от стенки скважины и объем образованной трещины с учетом фильтрации промывочной жидкости в пласт.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается достаточным объемом экспериментальных данных, сходимостью результатов и их воспроизводимостью с использованием современного оборудования.

#### **Практическая значимость**

1. Разработанные отверждаемые составы позволяют увеличить эффективность фиксации кольматанта в трещинах за счёт принятия формы заполняемого состава гелем.

2. Разработанная математическая модель позволяет оценить уровень раскрытия трещины в процессе будущей закачки, что позволяет повысить качество кольматации за счёт подбора оптимального фракционного состава наполнителя для полученных условий.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались на защите ИПР молодых специалистов (Самара, 2014, протокол №1 от 30.06.2014); IV Научно-практической конференции «Инжиниринг строительства и реконструкции скважин» (Самара, 2014); Научно-технической конференции молодых специалистов ООО СамараНИПИнефть (Самара, 2014); Международной научно-практической конференции «Научные процессы глобализационных процессов» (Уфа, 2014); VIII Кустовой научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «НК «Роснефть» по блоку «Наука»

(Томск, 2015); Международной научно-практической конференции «Ашировские чтения» (Туапсе, 2015, 2016).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 13 печатных работ, в том числе 2 работы изданы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

**Личный вклад автора.** Выполнен анализ результатов ранее опубликованных работ; сформулированы цели и задачи исследования; разработаны отверждаемые вязкоупругие составы; предложена методика оценки времени отверждения рассмотренных композиций; выполнен расчёт функции подбора компонентов вязкоупругих составов для определения времени отверждения; проведены экспериментальные исследования различных методов подбора фракционного состава кольматанта и способа его закачки; разработана математическая модель; проведены исследования перераспределений тангенциальных напряжений на стенках скважины в зависимости от расположения пробки в трещине;

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка используемой литературы, и содержит 100 стр. машинописного текста, 50 рис., 15 табл., 101 литературный источник.

#### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы, формулируется цель, определяются задачи исследования, приводятся основные защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** рассмотрены работы российских и зарубежных авторов по исследованию в области борьбы с поглощениями и повышения устойчивости ствола скважины. Этому посвящены труды: Ангелопуло О.К., Бабаяна Э.В., Басарыгина Ю.М., Булатова А.И., Вадецкого Ю.В., Дж. Р. Грей, Г.С.Г. Дарли, Калинина А.Г., Мавлютова М.Р., Михеева В.И., Подгорнова Ю.М., Полякова В.Н., Рабии Х., Рязанова Я.А.,

Середы Н.Г., Спивака А.И., Ясова В.Г. и ряда других исследователей.

Проанализированы основные факторы, влияющие на стабильность стенок скважины в процессе бурения, и способы повышения устойчивости ствола скважины. Также проанализированы напряженное состояние горной породы, до и после вскрытия бурением, и принципы обрушения стенок скважины и возникновения поглощения бурового раствора.

Из проведённого анализа видно, что за счёт тектонических сил порода находится в напряженном состоянии, причем любой элементарной объём горной породы при естественном залегании испытывает всестороннее сжатие взаимно ортогональными главными напряжениями. Одной из причин возникновения поглощения в процессе бурения скважин является превышение гидростатического давления в скважине над минимальным горизонтальным напряжением. Снижение гидростатического давления в скважине ниже порового давления приводит к вывалам горной породы вдоль действия минимальных горизонтальных напряжений и обрушению стенок скважины. Для обеспечения устойчивого состояния ствола скважины подбирают плотность бурового раствора исходя из возможного диапазона, в пределах которого не происходит повреждения пласта.

Таким образом, изменение плотности промывочной жидкости по мере углубления скважины позволяет поддерживать ее устойчивое состояние, но при совместимости интервалов, т.е. когда повышение плотности не вызовет поглощение бурового раствора, а уменьшение – обвалов ствола скважины.

Особое внимание при анализе литературы уделялось методам повышения устойчивости ствола скважины. Установлено, что высокие давления нагнетания способствуют упрочнению ствола скважины за счёт расширения трещины, благодаря чему кольцевые напряжения на стенке скважины повышаются.



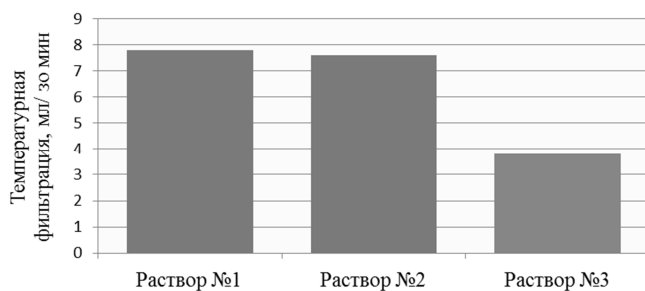
Анализ работ по исследованию в области борьбы с поглощениями и повышения устойчивости ствола скважины показал перспективность дальнейших исследований в этом направлении.

**Во второй главе** представлены результаты исследований по разработке эффективных вязкоупругих составов с изменяемым временем отверждения, выбору фракционного состава кольматанта и способа его закачки для увеличения степени кольматации трещин.

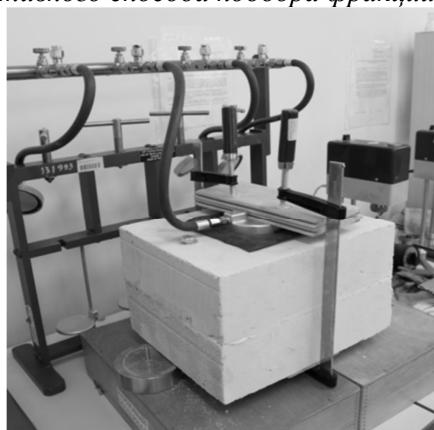
Для решения проблемы создания прочной пробки в трещине был поставлен эксперимент по выбору оптимального фракционного состава кольматанта путем сравнения трех теорий упаковки: по методу Кауффера (теория идеальной упаковки), методу Викерса и методу наибольшего перекрытия диапазона частиц.

В лаборатории были смоделированы скважинные условия с помощью НРНТ фильтр-пресса и фильтрационной среды с помощью керамических дисков пористостью 20 мкм и проницаемостью 3000 мД. В качестве бурового раствора использовался полимерный безглинистый раствор на водной основе с модифицированным крахмалом, полимером на основе ксантановой смолы и хлористым калием. В качестве кольматанта использовался карбонат кальция, рассчитанный по трем различным теориям. В результате, получившиеся испытуемые буровые растворы были следующими: раствор №1 – метод Викерса, раствор №2 – метод Кауффера, раствор №3 – метод обеспечения широкого диапазона распределения частиц. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

Для повышения эффективности кольматации трещин был поставлен эксперимент, направленный на определение наиболее эффективного режима закачки кольматанта, путем сравнения закачки при постоянном и переменном давлениях. Для этого была изготовлена модель вертикальной скважины из газобетонного блока, представленной на рисунке 3.



*Рисунок 2 – Диаграмма результатов эксперимента по определению эффективного способа подбора фракций  $\text{CaCO}_3$*



*Рисунок 3 – Фотография модели скважины в газобетонном блоке*

Вследствие совмещения двух частей блока и тщательной притирки их друг к другу, был искусственно создан узкий горизонтальный канал, который был загерметизирован с одной стороны путем склеивания двух частей по периметру клеем-герметиком. Для создания давления в скважине была использована верхняя крышка от фильтр-пресса компании OFITE с нагнетательной линией и системой клапанов. Прижимное усилие, достаточное для герметичности модели и проведения эксперимента, обеспечивалось двумя шпильками с гайками, момент затяжки которых регулировался с помощью динамометрического ключа и составлял 40 Н·м на каждую гайку.

В процессе проведения эксперимента была произведена закачка бурового раствора с  $\text{CaCO}_3$ . В первом случае это давление выдерживалось постоянным и было равно 7 атм, во втором – переменным 3-7 атм. Время эксперимента и в первом и во втором случае было фиксированным и составляло 5 мин. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

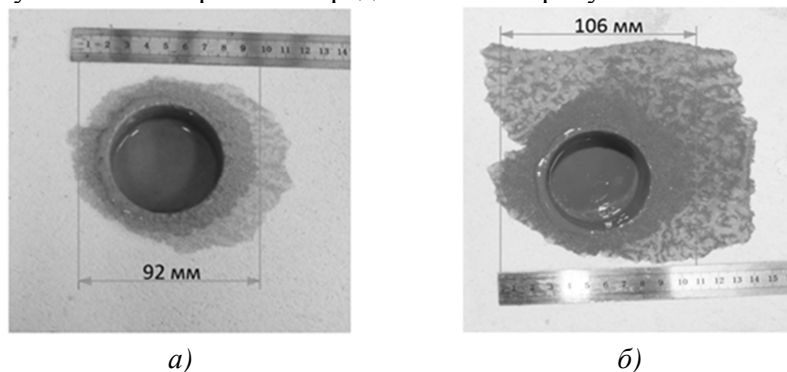


Рисунок 4 – Фотография вскрытого блока после закачки  $\text{CaCO}_3$  при:  
а – постоянном давлении; б – переменном давлении

В результате экспериментов установлено, что наименьшее значение фильтрации достигается путем подбора кольматанта с широким диапазоном распределения частиц, а максимальное проникновение кольматанта в трещину достигается при его динамической закачке, что позволяет сформировать более плотную пробку в трещине, тем самым препятствуя поглощению бурового раствора в пласт.

Для повышения качества кольматирования трещин пласта были отработаны рецептуры вязкоупругих составов на основе полимерных реагентов, обладающие высокой вязкостью и быстрым схватыванием при поступлении в заколонное пространство. Для получения ВУСов были опробованы 1 -0,5 -0,4 -0,3 -0,25%-ные водные растворы полиакриламида марок CYATROL OFXC 1187, ACCOTROL S-622, RDA-1020 B, DK - DRILLA-1, DKS-ORT-F40 NT. Роль отвердителя выполняли технический раствор ацетата хрома и технический формалин. С

целью стабилизации смеси и возможности регулирования сроков отверждения в ВУС вводился 5%-ный раствор карбоксиметицеллюлозы. В частности, в эксперименте использована КМЦ марки TYLOSE.

Сроки отверждения и время жизни вязкоупругих составов на основе полиакриламида различных марок приведены на рисунках 5-6.

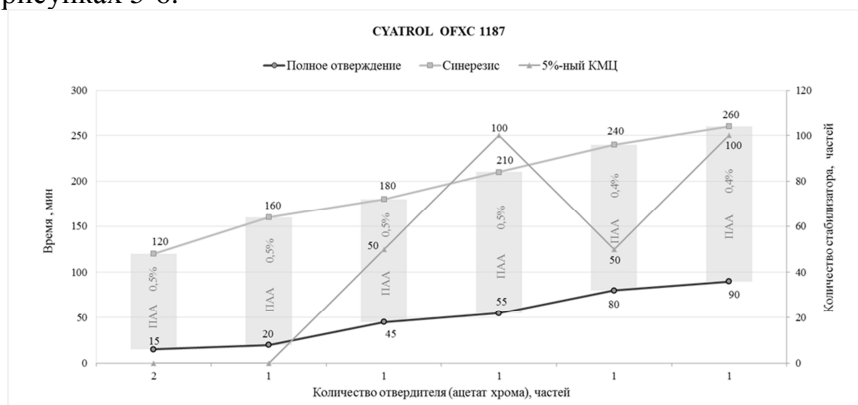


Рисунок 5 – График времени полного отверждения и синерезиса ВУС на основе ПАА марки SYATROL OFXC 1187

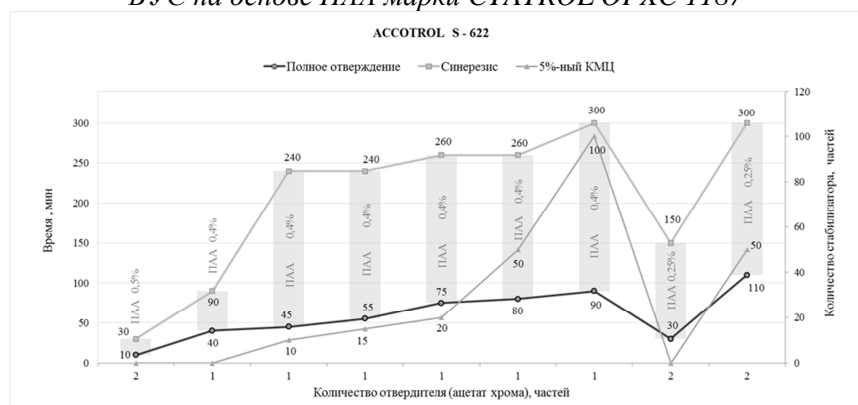


Рисунок 6 – График времени полного отверждения и синерезиса ВУС на основе ПАА марки ACCOTROL S-622

Также была исследована зависимость времени отверждения ВУС от концентрации ПАА и отвердителя на основе бурового раствора с кольматантом. Вязкоупругий состав был приготовлен путем увеличения концентрации ПАА марки PRAESTOL 2540 от 0,2 до 0,4% и повышения вязкости биополимерного бурового раствора на основе ксантановой смолы. В роли отвердителя применялся раствор хлорида хрома в пределах 20-100 частей от концентрации ПАА. Результаты исследования представлены на рисунке 7.

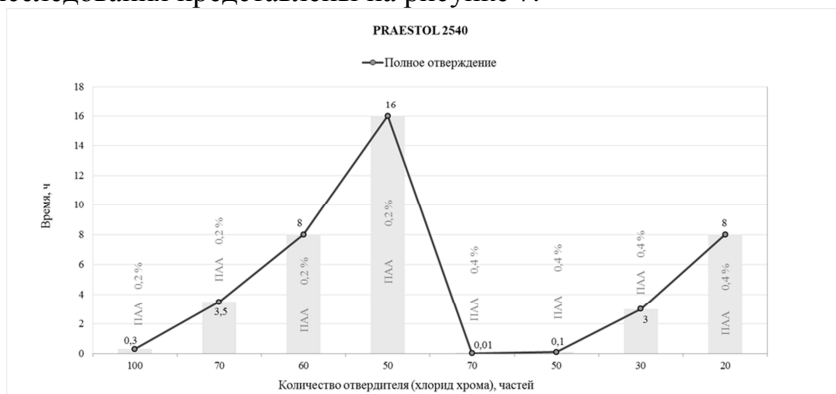


Рисунок 7 – График зависимости времени отверждения ВУС на основе ПАА марки PRAESTOL 2540 от количества  $CrCl_3$

Анализируя результаты исследований, можно сделать выводы о том, что за счет повышения концентрации ацетата хрома и ПАА в 2 раза возможно ускорить процесс сшивания структуры в 3 раза, однако это снижает время существования ВУС также в 3 раза.

При добавлении 5%-го раствора КМЦ в количестве 100 частей при постоянном значении ПАА и ацетата хрома, время отверждения и синерезиса ВУС увеличивалось в среднем в 2 раза. Таким образом, было установлено, что во всех случаях введение стабилизатора позволяет увеличить сроки отверждения и жизни ВУС.

При снижении количества ацетата хрома от 2 до 1 частей в составе вязкоупругих композиций, при постоянном количестве остальных реагентов, время отверждения увеличивается в 2 раза, а срок синерезиса повышается на 20%.

В результате лабораторных исследований, были определены марки ПАА, которые представляют практический интерес, а именно: составы на основе ПАА марки SYATROL OFXS 1187 и ACCOTROL S -622, т.к. они наиболее стабильны и показали наибольшее время синерезиса.

Результаты экспериментов с ПАА марки PRAESTOL 2540 и отвердителем  $\text{CrCl}_3$  показали, что при 0,4% концентрации ПАА и количестве хлорида хрома превышающего 50 частей от концентрации ПАА реакция отверждения наступает в течение 6 мин. В композиции с 0,2% содержанием ПАА минимальное время сшивания составило 18 мин при добавлении 100 частей  $\text{CrCl}_3$ .

Таким образом, в ходе лабораторных исследований были разработаны вязкоупругие составы на основе полиакриламида при концентрации от 0,2 до 1% и отвердителя в количестве 1-100 частей, варьируя содержанием которых, возможно подобрать оптимальное время отверждения, которое бы превышало время прокачки кольматационной пачки в составе твердеющего ВУС в поглощающий интервал скважины.

Для подбора компонентов ВУС без проведения лабораторных испытаний по определению концентраций основных реагентов был выполнен расчёт уравнения с помощью программного продукта Wolfram Mathematica, одной из возможностей которого является проведение полиномиальной интерполяции через точки, построенные по известным значениям. Эти значения были выбраны согласно результатам исследований ВУС на основе ПАА PRAESTOL 2540 и  $\text{CrCl}_3$ , приведенных на рисунке 7. На рисунке 8 отображен 3D график рассчитанной поверхности.

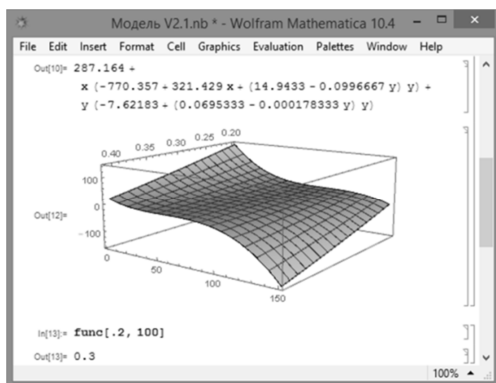


Рисунок 8 – Рабочее окно с результатами моделирования

Таким образом, было рассчитано следующее уравнение, базирующееся на результатах наших исследований:

$$t = 287,164 + x(-770,357 + 321,429x + (14,9433 - 0,0996667y)y) + y(-7,62183 + (0,0695333 - 0,000178333y)y) \quad (1)$$

где  $x$  – концентрация ПАА PRAESTOL 2540, %;

$y$  – содержание хлорида хрома  $CrCl_3$ , частей;

$t$  – вычисляемое время полного отверждения, с.

Полученное полиномиальное уравнение позволяет вычислить время отверждения вязкоупругих составов при заданных значениях вносимых реагентов. Пример вычислений тестируемых ВУС представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Время отверждения ВУС на основе ПАА марки PRAESTOL 2540 и  $CrCl_3$ , ч

Концентрация ПАА, %	Количество отвердителя (хлорид хрома), частей									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<b>0,4</b>	16,8	8,0	3,0	0,7	0,1	0,1	-0,5	-2,5	-7,3	-15,7
<b>0,3</b>	57,4	36,6	21,7	11,4	4,8	0,8	-1,7	-3,8	-6,5	-10,9
<b>0,2</b>	104,4	71,7	46,8	28,6	16,0	8,0	3,5	1,4	0,7	0,3
<b>0,1</b>	157,8	113,2	78,3	52,1	33,6	21,6	15,1	13,1	14,4	17,9

Отрицательные значения, полученные по данной модели, указывают на мгновенное сшивание ВУС, что не пригодно для промышленных условий, т.к. нет возможности для доставки приготовленной пачки в поглощающую зону.

**В третьей главе** представлены результаты моделирования процесса раскрытия трещин в скважине, произведенные с помощью метода конечных элементов. Разработана математическая модель, позволяющая оценить ширину трещины на заданном расстоянии от стенки скважины и ее объем с учетом фильтрации жидкости в пласт.

Определен и описан необходимый набор входных параметров для применения в математической модели расчёта прогнозируемой трещины, включающий механические свойства горной породы, горное давление, пористость горной породы, поровое давление, минимальное горизонтальное напряжение и проницаемость горной породы.

Для рассмотрения механизма раскрытия трещин в скважине с оценкой кольцевых напряжений во время раскрытия и закупорки трещины, был поставлен численный эксперимент с помощью программного продукта ABAQUS, использующего метод конечных элементов. Для этого была создана модель упругой деформации в скважине до и после установки пробки в трещину на различном расстоянии от стенки скважины.

Данный эксперимент показал, что кольцевые напряжения повышаются после создания трещины и при увеличении дальности установки пробки, также увеличение раскрытия трещины приводит к уменьшению растягивающих напряжений на конце трещины, что приводит к более сложному ее распространению.

Для определения уровня раскрытия трещины на заданном расстоянии от стенки скважины, необходимого для расчёта фракционного состава кольматанта, была разработана математическая модель на основе уравнения Снеддона для раскрытия трещин в условиях плоской деформации:

$$w(x) = \frac{4p_0}{E'} \sqrt{x_f^2 - x^2} \quad (2)$$

где  $w(x)$  – ширина раскрытия трещины, м;  $x$  – расстояние от условного центра трещины, м;  $x_f$  – полудлина трещины, м;  $E'$



– модуль плоской деформации, Па;  $p_0$  – давление внутри трещины, Па.

Данное уравнение описывает возникновение единой трещины из условной точки в центре с внутренним давлением  $p_0$ , которое требуется для ее раскрытия. Отметим, что описываемая трещина расходится в обе стороны от материальной точки, которую нельзя применить к процессу раскрытия трещин в скважине.

Для того чтобы описать процесс раскрытия трещин в скважине необходимо ввести в формулу (2) радиус скважины, т.к. физически трещина берет начало от стенки скважины. Кроме того, процесс поглощения бурового раствора происходит при превышении значения минимального горизонтального напряжения, поэтому при определении давления, требуемого для раскрытия трещины, будет учитываться данный параметр.

Для скважинных условий данную формулу можно представить в следующем виде:

$$w(x) = \frac{4(1 - \nu^2)}{E} (P_w - S_h) \sqrt{(x_f + R)^2 - x^2} \quad (3)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль Юнга, Па;  $P_w$  – забойное давление в скважине, Па;  $S_h$  – минимальное горизонтальное напряжение, стремящееся сомкнуть трещину, Па;  $x_f$  – длина трещины от стенки скважины до конца трещины, м;  $R$  – радиус скважины, м;  $x$  – расстояние от центра скважины, м (Рисунок 9). Полученное уравнение (3) справедливо при  $R > 0, x_f > x > R$  и  $P_w > S_h$ .

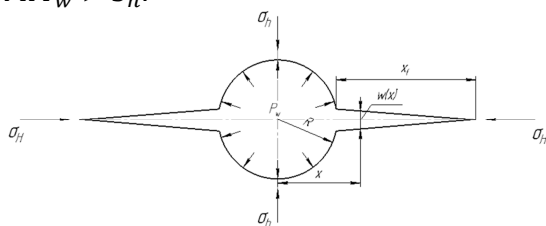


Рисунок 9 – Схематическое изображение двумерной трещины в скважине

В результате проведенного анализа было установлено, что при расчёте ширины раскрытия трещины для заданных условий по предложенному уравнению (3) результаты отличаются, в среднем, на 1,5 мм, по сравнению с уравнением Снеддона (2).

Таким образом, полученная формула позволяет более точно определить ширину трещины на заданном расстоянии от центра скважины, в результате чего более точно выполнять подбор фракционного состава кольматанта и сформировывать пробку в трещине на требуемом интервале.

**В четвёртой главе** представлены результаты расчёта на основе разработанной математической модели по промысловым данным, полученных с Вынгапуровского месторождения ХМАО.

*Таблица 2 - Сводные данные по результатам расчётов модели для разных образцов керна*

Номер образца	$x_f$ , м	$\rho_{\text{эkv}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_w$ , МПа	$C$ , м/мин <sup>1/2</sup>	$q_l$ , м <sup>3</sup>	$V_F$ , м <sup>3</sup>	$V_{\text{общий}}$ , м <sup>3</sup>	$w(x)$ , м	Размер частиц кольматанта, мкм
46-06п	13,17	1446	39,7	0,0007	0,11	0,18	0,35	0,57	570
73-06п	14,07	1446	39,8	0,01	1,3	1,37	2,73	0,53	530
26-06п	13,23	1446	39,6	0,003	0,4	0,46	0,92	0,37	370
70-06п	13,47	1446	39,8	0,008	1,3	1,38	2,75	0,65	650
103-06п	13,32	1446	39,9	0,019	3,1	3,19	6,37	0,85	850

С помощью математической модели и фактических значений свойств горных пород для различных образцов керна Вынгапуровского месторождения выполнен подбор фракционного состава кольматанта, концентрации ПАА и отвердителя для его лучшей фиксации в трещине и повышения давление поглощения рассматриваемого пласта.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Проведенный анализ современных применяемых технологий и материалов в области предотвращения поглощений бурового раствора и обвалов стенок скважин показал, что повышение качества бурения скважин, за счёт предотвращения обвалов и поглощений бурового раствора возможно путем

разработки эффективных вязкоупругих смесей с наполнителем-кольматантом и их отверждением в трещинах.

2. Исследование различных теорий по подбору фракционного состава кольматанта и его влияния на закупоривание трещин в скважине показали, что наименьшее значение фильтрации достигается путем подбора кольматанта с широким диапазоном распределения частиц, а максимальное проникновение кольматанта в трещину достигается при его динамической закачке.

3. Разработанные вязкоупругие составы на основе полиакриламида при концентрации от 0,2 до 1% и отвердителя в количестве 1-100 частей, позволяют подобрать оптимальное время отверждения, которое бы превышало время прокачки кольматационной пачки в составе твердеющего ВУС в поглощающий интервал скважины.

4. Расчётное полиномиальное уравнение позволяет подобрать концентрацию ПАА марки PRAESTOL 2540 и  $\text{CrCl}_3$  в зависимости от требуемого времени отверждения в составе ВУС на основе бурового раствора.

5. Исследование процесса раскрытия трещины в скважине, с применением метода конечных элементов, показало, что при более удаленном расположении расклинивающего агента трещина обладает меньшей вероятностью раскрыться в ширину за счёт увеличенных напряжений закрывающих трещину, и развиться в длину из-за уменьшенных растягивающих напряжений на конце трещины.

6. Определен необходимый набор исходной информации для расчёта прогнозируемой трещины, включающий механические свойства горной породы, горное давление, пористость горной породы, поровое давление, минимальное горизонтальное напряжение и проницаемость горной породы.

7. Разработанная математическая модель, учитывающая механические свойства буримых горных пород, радиус скважины, эффективное давление и фильтрацию

закачиваемой жидкости, позволяет определить расчётную ширину трещины на заданном удалении от стенки скважины и объем образованной трещины с учетом фильтрации промывочной жидкости в пласт.

**Наиболее значимые работы по теме диссертации:**

1. Липатов А.В., Ибятуллин И.М. Выбор эффективного бурового раствора для бурения фаменского яруса. // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «НАУКА СЕГОДНЯ» Часть 1. 2014. С.86-88.

2. Липатов А.В., Живаева В.В., Ибятуллин И.М., Исследование пластичных майкопских глин с целью подбора эффективной промывочной жидкости для бурения осложненного интервала. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. №4. С.11-13.

3. Липатов А.В. Математическая модель раскрытия трещины в процессе упрочнения ствола скважины. // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «АШИРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ». 2016. С.258-264.

4. Липатов А.В., Живаева В.В., Ибятуллин И.М., Подбор кольматанта и способа его закачки для упрочнения стенок скважины методом повышения кольцевых напряжений. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2016. №3. С.28-31.

5. Липатов А.В., Живаева В.В. Разработка вязкоупругих отверждаемых составов на основе полимерных буровых растворов. // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «АШИРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ». 2016. С.265-269.

6. Липатов А.В., Ибятуллин И.М., Упрочнение стенок скважины методом повышения околоскважинных напряжений. // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «АШИРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ». 2015. С.93-99.