

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Давлетбаева Альфреда Ядгаровича «Неизотермическая фильтрация углеводородов в низкопроницаемых коллекторах с трещиной гидроразрыва пласта при электромагнитном воздействии», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы диссертации.

Докторская диссертация А. Я. Давлетбаева посвящена **актуальной** проблеме фильтрации углеводородов в низкопроницаемых коллекторах с трещиной гидроразрыва пласта (ГРП) и тепловому воздействию на залежи высоковязких нефтей. Эта проблема особенно важна ввиду существенного роста доли трудноизвлекаемых запасов нефти, среди которых выделяются низкопроницаемые коллекторы и высоковязкие нефти. Современная практика добычи высоковязких углеводородов показывает высокую эффективность тепловых методов воздействия, однако существующие ограничения делают необходимым дальнейшее развитие инновационных подходов, таких как применение высокочастотного электромагнитного (ЭМ) воздействия, а также его комплексирование другими такими методами как закачка растворителя и гидравлический разрыв пласта.

Научная новизна.

- Разработана обобщенная теоретическая модель, охватывающая неизотермическую фильтрацию высоковязких углеводородов в низкопроницаемом пласте с трещинами ГРП, которая учитывает эффекты термического расширения, адиабатический эффект, неизотермическую нелинейную фильтрацию, влияние объемных тепловых источников в пласте/трещине при высокочастотном ЭМ воздействии.

- Исследовано влияние объёмных тепловых источников с учетом выражений для малых и больших расстояний от излучателя высокочастотных электромагнитных волн. Выявлены закономерности с 2х кратным завышением изменения температуры при отсутствии учета поправок в выражении для объемных тепловых источников на расстояниях менее 1 м в окрестностях скважины с трещинами ГРП.

- Представлены результаты анализа процессов нелинейной фильтрации высоковязких жидкостей с предельным градиентом давления, показывающие необходимость учёта специфики протекания процессов при оценке производительности скважин с трещинами ГРП. Выявлена немонотонность в профилях подвижности, градиентов давления, коэффициента нелинейной

ВХОД. № 3842-13
«10» 10. 2025.

фильтрации вдоль трещины ГРП и в пласте, которая смещается глубже в пласт по мере увеличения области дренирования, т.е. уменьшения застойных зон с отсутствием фильтрации между соседними скважинами окружения.

Значимость полученных результатов для науки и практики.

Полученные результаты в диссертационной работе представляют научный интерес, обладают практической ценностью, могут быть использованы при прогнозировании притока тяжёлых нефтей и сверхвязких углеводородов, в ходе проектирования и разработки месторождений со скважинами при наличии трещин ГРП, при осуществлении «холодного» притока и притока с поэтапным тепловым воздействием посредством генератора ЭМ волн. Предложенная обобщенная теоретическая модель позволяет воспроизвести и исследовать процессы тепло- и массопереноса с учетом нелинейных, неизотермических, нестационарных эффектов в низкопроницаемом пласте с трещинами ГРП.

Методы исследования и обоснованность выводов.

Методология исследования основана на проверенных принципах механики многофазных сред и включает современные подходы к численному моделированию. Реализация физико-математических моделей осуществлялась с привлечением эффективных вычислительных методов, позволивших адекватно отразить реальные процессы, происходящие в сложных природных условиях.

Приведённые результаты подтверждают применимость разработанных моделей и позволяют говорить о достоверности представляемых выводов. Особое внимание уделено вопросам точности вычислений, проведено тестирование моделей путём сравнения с аналитическими решениями для частных случаев, а также путем сопоставления расчётных данных с результатами промысловых испытаний.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности.

Рассматриваемая работа состоит из введения, четырех глав и заключения, охватывая общий объем в 234 страниц.

Во введении сформулированы основные цели и задачи исследования, подчеркнута научная новизна предложенных решений и их практическая значимость.

В первой главе приведен обзор существующей научной литературы по вопросам изотермической и неизотермической фильтрации в системах, содержащих скважину, пласт и трещину ГРП, а также обзор месторождений высоковязкой нефти с добычей посредством скважины с трещиной ГРП, а также промысловые испытания с ЭМ воздействием на залежи высоковязкой нефти и битумов.

Во второй главе приведена обобщенная физико-математическая модель нелинейной неизотермической фильтрации жидкости в ограниченном низкопроницаемом пласте с применением численных методов к расчету полей давления, динамики изменения температуры, величины притока в скважине и других параметров при ЭМ воздействии. Модель применялась для исследования фильтрационных потоков в скважинах с трещиной ГРП при различных геометрических и фильтрационных параметрах, а также для воспроизведения промысловых данных методом гидропрослушивания на низкопроницаемом пласте и воспроизведения промыслового примера с испытанием ЭМ воздействия на Юлтимировской залежи битумов.

В третьей главе обобщенная модель использовалась для исследования процессов при нелинейной фильтрации в ограниченном пласте с различными значениями предельного градиента давления для скважины без трещины ГРП и нескольких скважин с трещинами ГРП. В главе оценены размеры областей «застойных зон», их зависимость от перепада давления между скважиной и пластом.

В четвертой главе рассматривается задача о ЭМ воздействии, комбинированном с закачкой растворителя и гидравлическим разрывом пласта. Исследованы фильтрационные процессы смешивающегося вытеснения растворителя и высоковязкой нефти при одновременном электромагнитном воздействии. Предложенный метод сравнивается с осуществлением «холодной» добычи, поэтапной закачкой «холодного» растворителя, добычей с поэтапным тепловым воздействием и другими методами.

В конце каждой главы приведены краткие выводы, в Заключении представлены общие выводы и результаты по работе.

Полученные результаты являются новыми, их достоверность в рамках разработанной обобщенной модели не вызывает сомнения. Путем численных расчетов воспроизведены промысловые данные.

Замечания по содержанию диссертации.

1. В работе рассматривается модель трещины ГРП, продольной оси скважины (рис. 2.1.1), высота трещины принята равной высоте пласта. Данная идеализация сужает применимость модели на практике, поскольку при гидроразрыве пласта образуются трещины, радиальные и расположенные под различными углами к оси скважины.

2. Требуют обоснования режимы фильтрации и их характерные времена в системе «скважина – трещина ГРП конечной длины – пласт», рассмотренные в работе.

3. В ходе проведения гидроразрыва пласта в трещину закачивают воду, а в пласте содержится высоковязкая нефть, которая является многокомпонентной средой. Почему в модели нет величин насыщенности фаз?

4. На стр 48 приводится трансцендентное уравнение (2.1.12) для оценки радиуса ближней зоны излучения ЭМ волн без вывода и ссылки на литературные источники.

5. Какие обоснования выбора частоты 13.56 МГц для генератора электромагнитных волн ?

6. В граничном условии на скважине не учтен эффект влияния ствола скважины, а также не учтен эффект загрязнения (ухудшения фильтрационных свойств) пласта вокруг трещины ГРП.

7. При таких значительных изменениях температуры стоило учесть влияние температуры на величину предельного градиента давления. Существенные изменения температуры в пласте и в трещине, наблюдаемые при ЭМ воздействии, могут оказывать влияние на реологические свойства высоковязкой нефти. Стоило дополнить исследование анализом влияния температурных изменений на величину предельного градиента давления, поскольку данный параметр важен для описания фильтрационных процессов.

8. В работе отсутствует теоретическое и экспериментальное обоснование принятой зависимости вязкости от температуры. Стоило привести экспериментальные данные, подтверждающие адекватность выбранной зависимости для описания реологического поведения высоковязкой нефти в исследуемом диапазоне температур.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки представленной научной работы.

Заключение.

Диссертационная работа Давлетбаева А.Я. выполнена на высоком профессиональном уровне, отражает глубокое понимание предмета исследования и демонстрирует широкий спектр используемых методик. Важнейшим достижением является разработка физико-математической модели, позволяющей исследовать процессы тепло- и массопереноса при комплексном подходе к эксплуатации месторождений с низкопроницаемым коллектором и высоковязкой нефтью. В работе исследованы эффекты термического воздействия, нелинейной фильтрации и совместного воздействия электромагнитных полей, гидроразрыва пласта, закачки растворителя. Основные результаты диссертации обсуждены на международных и всероссийских конференциях, опубликованы в научной

печати, в т.ч. в 41 работах, 11 из которых – в изданиях индексируемых WoS и Scopus, 8 статей в журналах, индексируемых RSCI, четыре статьи в непереводных российских журналах из перечня ВАК, в монографии, получено 7 патентов. Основное содержание диссертации отражено в автореферате.

В целом, считаю, что диссертационная работа Давлетбаева А.Я. соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а ее автор, Давлетбаев Альфред Ядгарович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук (специальность 1.1.9. Механика жидкости, газа, плазмы), доцент, профессор кафедры информационных технологий и прикладной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, 450062, ул. Космонавтов, д. 1

Тел.: +79053537801

E-mail: emi.galiakbar@yandex.ru



Галиакбарова Эмилия Вильевна

08.10.2025

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, 450062, ул. Космонавтов, д. 1,

Тел.: +7(347)242 87 15

E-mail: kafedra-matematiki@rambler.ru

Подпись Эмилии Вильевны Галиакбаровской заверяю.

Начальник отдела
работы с персоналом



Дадаева Ольга Леонидовна

08.10.2025