



N 116-9
07.08.2021

использовать их напрямую для моделирования авто-ГРП. Таким образом, выбранная соискателем тема работы является актуальной и с научной точки зрения.

Научная новизна, результаты работы и их практическая ценность

Содержание Главы 1 включает обзор современных технологий заводнения нефтяных пластов с учетом наличия техногенных трещин, современных методик гидродинамического исследования пласта с целью обнаружения и контроля развития трещин авто-ГРП, в том числе, методы гидропрослушивания пласта, позволяющие определить корреляции функционирования нагнетающих и добывающих скважин, а также изменение работы системы ППД при появлении трещин авто-ГРП. Одним из выводов проделанного анализа литературы и практических требований разработки является постановка задачи определения равновесного положения трещины, которая решается автором ниже.

В Главе 2 автором поставлена задача об устойчивом положении трещины авто-ГРП в стационарном режиме системы ППД. Рассматривается рядная периодическая система разработки, в которой нагнетающие и добывающие скважины работают при постоянных давлениях, а закачка компенсируется добычей. Ставится задача об определении предельного давления закачки, при котором происходит рост трещины авто-ГРП. Задача решается в гидроупругой постановке, с использованием гидродинамического (tNavigator) и геомеханического (Visage) симуляторов на основе итерационной процедуры, сопрягающей расчет изменения порового давления и результирующее изменение полного напряжения в пласте. По итогам расчета определяется длина равновесной трещины ГРП для заданного забойного давления. Основным результатом данной главы является неожиданный результат о граничном значении полудлины трещины равной 100 м, меньше которой трещина является устойчивой, но неограниченно растет при большей длине. Данный результат имеет большую практическую значимость, поскольку позволяет оценить безопасный уровень давления закачки, при котором появление трещины авто-ГРП не приведет к ее спонтанному росту.

В Главе 3 диссертации исследуется задача о нахождении предельного давления инициации трещины ГРП при наличии естественной трещины, пересекающей скважину. Для определения напряжения на стенке скважины автор использует известное решение Кирша. Вычисление критериев разрушения Мора-Кулона и предельного растягивающего напряжения позволяют определить предельные давления жидкости в скважине, при которых может произойти гидроразрыв. В силу произвольности задания положения скважины относительно главных осей тензора геологических напряжений, предложенный подход можно использовать для любой ориентации скважины и пересекающей ее трещины.

В Главе 4 полученные в предыдущих главах результаты по моделированию режимов работы пласта с трещинами ГРП и авто-ГРП на добывающих и нагнетающих скважинах используются для оценки оптимальной длины трещин авто-ГРП, при которых достигается максимальный КИН. Разработанные алгоритмы были применены на Приобском месторождении показали свою эффективность, в связи с чем в диссертации имеется справка о внедрении результатов работы.

Перечисленные результаты работы являются новыми.

Замечания к тексту диссертации

1. Недостатки оформления работы:

- а. большое количество опечаток, к примеру, в формуле (1.4) (коэффициент при v), (1.7) (формула правильная, но это не модель Картера), (2.2) (не тот знак перед $\alpha p I$ в выражении для эффективного напряжения и лишнее слагаемое в последнем выражении), (2.9) (в тензоре напряжений σ уже есть слагаемое $\alpha p I$), (2.14) (какая из областей Ω здесь используется?), (3.2) (пропущены множители в правой части первых трех формул), (3.12) (эта формула задает пересчет координат тензора при повороте системы координат, а не при переходе в цилиндрическую с.к., как утверждается в тексте) и т.д;
 - б. отсутствует четкая постановка граничных условий на внутренних границах (скважины и трещины) в геомеханической модели;
 - в. нет четкого понимания, какой знак для напряжений использует автор. К примеру, в формулах (2.2) и (2.3) понимается, что положительными являются растягивающие напряжения, в то время как на рисунках (3.3), (3.5), (3.7) положительным считается сжимающее напряжение;
 - г. из текста работы не ясно, величины каких компонент тензора напряжений изображены на рис. (3.5), (3.7). Обычно на диаграмме Мора изображают полуокружности, диаметром которых является отрезок между минимальным и максимальным главными напряжениями на горизонтальной оси как на рис. (3.3), а не отдельные компоненты напряжений;
 - д. нет указания на абсолютные величины давлений на цветовых шкалах рис. 4.3, 4.4. Не ясно, почему на этих графиках картина не симметрична при симметричных граничных условиях, нет определения КИН, по которому проводились расчеты в Главе 4.
2. Критическая длина трещин в 100 м получена при расчетах с вполне определенными характеристиками пласта и граничными условиями. Очевидно, что при других параметрах пласта эта длина будет меняться. Было бы правильно характеризовать эту критическую длину в терминах безразмерных параметров. Без этого вывод Главы 2 о критической длине в 100 метров без указания характеристики пласта и закачки является неполным.
 3. Не обоснована возможность применения решения Кирша в задаче о скважине с пересекающей ее трещиной.
 4. Не ясно, почему на рис. 4.8 рост трещины прекращается при достижении длины 100 м. Ведь согласно результату главы 2, при превышении длины 100 м рост трещины должен стать не контролируемым, и трещина должна начать расти неограниченно.

Указанные замечания носят в основном редакторский характер, не умаляют значимости проделанной работы и служат рекомендациями для дальнейших исследований. Результаты работы подкреплены соответствующими численными расчетами или теоретическим моделированием. Автореферат соответствует тексту диссертации, все основные результаты опубликованы надлежащим образом.

Заключение

Диссертация И.Ш. Базырова является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые математические модели и даны важные практические рекомендации для функционирования системы заводнения пласта с учетом появления техногенных трещин гидроразрыва. Указанные в отзыве замечания не снижают общего научного уровня диссертации.

Установленные результаты об условиях равновесия трещин авто-ГРП важны с теоретической точки зрения, поскольку дают новые подходы к моделированию развития трещин ГРП в условиях существенного влияния порового давления. Практическое применение результатов состоит в оптимизации системы разработки в условиях возможного появления трещин авто-ГРП, в том числе, в определении пределов давления закачки, при котором авто-ГРП не образуются либо развиваются в устойчивом режиме, а также в увеличении коэффициента извлечения нефти на основе подбора оптимальных режимов закачки.

Диссертация «Контроль и регулирование роста техногенных трещин при вытеснении нефти из низкопроницаемых коллекторов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденный приказом ректора Горного университета от 10.12.2019 «1755адм, а ее автор Базыров Ильдар Шамилович заслуживает присуждения ученой степени кандидата наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Отзыв рассмотрен и одобрен по результатам обсуждения диссертационной работы соискателя Базырова Ильдара Шамилевича «Контроль и регулирование роста техногенных трещин при вытеснении нефти из низкопроницаемых коллекторов» на заседании Отдела прикладной гидродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук 02.06.2021 г., протокол № 14.

Отзыв составил:

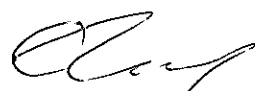
главный научный сотрудник,

д.ф.-м.н, профессор РАН,

специальность 01.01.02 – дифференциальные уравнения,

динамические системы и оптимальное управление

Сергей Валерьевич Головин



ФЕДЕРАЛЬНОЕ государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН)
пр. Лаврентьева, д.15, г. Новосибирск, 630090
тел/ф. (383) 333-16-12, igil@hydro.nsc.ru

Подпись Головина Сергея Валерьевича заверяю: ученый секретарь Хе А.К.

