

Вх. № 4/22
от 26.05.2022

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук Коваленко Игоря Викторовича на диссертационную работу Шляпкина Алексея Сергеевича «**Математическое моделирование процесса гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения проппанта в трещине и фильтрационных утечек в пласт**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертационной работы

Моделирование при разработке месторождений позволяет снизить возможные риски, связанные с выполнением геолого-технических мероприятий (далее ГТМ), повысить их успешность и рентабельность. Использование в качестве инструмента анализа или прогноза, в частности, специализированного программного обеспечения, позволяющего произвести численное моделирование на сегодняшний день широко вошло в практику нефтегазодобывающих компаний и проектных институтов. Однако, как справедливо отмечает автор, есть ряд несовершенств в существующих подходах к моделированию ГТМ, требующих доработки математического аппарата. Об этом свидетельствуют различные научные изыскания, приводящиеся в текущее время, призванные улучшить некоторые отстающие аспекты. При этом постоянно увеличивается вероятность санкционных рисков, связанных с возможной потерей доступа к зарубежному программному обеспечению.

В указанных обстоятельствах разработка на российском рынке собственного программного обеспечения, основанного на сложных математических моделях, является крайне перспективным научным направлением.

Цели и задачи исследования

В качестве цели работы автор указывает создание метода моделирования, основанного на уточнении математической модели в постановке Перкинса – Керна – Норджена, позволяющего производить оценку геометрических параметров трещины гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения проппанта внутри трещины; создание комплекса программ на основе численной реализации уточненной математической модели. Для этого были решены следующие задачи:

1. Разработан метод моделирования подачи вязкой жидкости с примесью твердых частиц (проппанта) в раскрывающуюся трещину гидроразрыва пласта с учетом потерь жидкости на просачивание в пористую среду и осаждение взвешенных частиц под действием силы тяжести.

2. Разработан вычисленный метод для решения задачи гидроразрыва в одномерной математической постановке.

3. Выполнена реализация полученного численного метода на основе уточненной математической модели подачи вязкой жидкости с примесью твердых частиц в раскрывающуюся трещину ГРП в виде комплекса программ.

4. Проведен вычислительный эксперимент с целью проверки функциональных возможностей комплекса программ при моделировании гидроразрыва, проведенного на реальном месторождении.

5. Выполнена оценка адекватности результатов проведенного эксперимента в сравнении с результатами, полученными на коммерческом зарубежном аналоге.

Научная новизна и практическая значимость полученных результатов

Предложенный в диссертационной работе метод моделирования по сравнению с существующими подходами позволяет учитывать поведение проппанта в трещине в результате взаимодействия со стенкой при утечках жидкости разрыва в породе, с учетом осаждения частиц, уточняя при этом размер полости трещины, что дает более корректную оценку при последующем расчете продуктивности.

Автором установлен ряд функциональных зависимостей, связывающих технологические параметры закачки, свойства пласта, свойства жидкостей разрыва и пропантов.

Предложен подход определения удельной стоимости, позволяющий спрогнозировать затраты для различных видов гидроразрыва пласта.

Разработанный автором оригинальный комплекс программ TSH FRAC позволяет производить вычисление геометрических свойств трещины в процессе гидроразрыва, учитывать возможные технологические риски, влияющие на успешность мероприятия, а также рассчитывать себестоимость самого мероприятия. В продукте TSH FRAC могут выполнять работу специалисты смежных области: инженеры, занимающиеся проектированием и сопровождением гидроразрыва пласта; специалисты экономических служб.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы. Текст диссертации содержит 139 страниц печатного текста, 51 рисунок, 4 таблицы, 11 графических приложений. Список литературы включает 158 источников.

Во введении автор приводит сведения об актуальности направления исследования, формулирует цели и задачи, указывает научную новизну и практическую значимость работы.

В первой главе выполнен подробный, качественный обзор существующих математических моделей, описывающих процесс образования трещины гидроразрыва пласта в процессе проведения мероприятия. Проведенный анализ позволил выявить аспекты, требующие более детального изучения, а именно вопросы, связанные с описанием утечек в пласт и особенности поведения пропанта в трещине.

На основе проведенного обзора сформулированы цели и задачи настоящей диссертационной работы. Автором показано, что для детального рассмотрения процесса гидроразрыва с учетом эффектов, связанных с транспортом пропанта в трещине, уместна одномерная постановка.

Во второй главе автор описывает разработанный в рамках диссертационной работы метод моделирования процесса образования трещины гидроразрыва пласта, основанный на математической модели, описывающей течение технологически неоднородной вязкой жидкости разрыва с примесью твердых частиц в раскрывающейся трещине гидроразрыва пласта. Приводится подробный вывод основных уравнений, детальные математические выкладки.

Автор отмечает, что рост осадка определяется сразу двумя процессами, проходящими в процессе движения жидкости разрыва по трещине: падением взвешенных частиц под действием силы тяжести; накоплением частиц в пристеночной области трещины за при просачивании жидкости гидроразрыва в пористую среду. Данный аспект выделяет работу среди существующих математических постановок.

Стоит отметить, что существенным упрощением, соответствующим одномерной постановке, является усреднение объемного содержания взвешенных частиц по поперечному сечению. Этому способствует стекание дисперсной фазы по стенкам трещины и значительное искривление линий тока в окрестности ее носика.

Авторская модель позволяет произвести оценку возможных осложнений, связанных с возникновением пропантовых пробок. Установлена связь между величиной объемного содержания частиц в смеси, скоростью их падения, средней скоростью и протяженностью роста самой трещины при разных режимах закачки.

Показано, что в случае невысоких фильтрационных утечек, а, следовательно, высокой эффективности жидкости разрыва наблюдается изменение геометрии трещины в концевой части трещины.

Автор также приводит альтернативную модель для расчета с использованием гелей со значительной вязкостью. Приводится анализ применимости указанных моделей и сравнение результатов расчета: дополнительная модель дает кондиционные результаты:

при повышении вязкости несущей жидкости снижается интенсивность осаждения частиц под действием сил гравитации, как и интенсивность утечек в пласт.

В третьей главе описывается конечно-разностная схема, используемая при дискретизации основной системы уравнений. Как поясняет автор, выбор явной схемы обусловлен особенностями реализации комплекса программ TSH FRAC, связанными с серверными вычислениями, что в данном случае упрощает «распараллеливание» схемы при выполнении вычислений, например, при расчете многозонного гидроразрыва пласта, где потребуется разбиение расчетной сетки на подобласти

Приведено исследование устойчивости используемой схемы с применением метода гармоник, получены критерии устойчивости. Анализ выполнен для линеаризованной постановки при отсутствии утечки в породу.

В четвертой главе автор приводит описание созданного комплекса программ TSH FRAC. Комплекс программ выполнен с использованием языка программирования C#. получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «TSH FRAC Программный комплекс для моделирования геометрических параметров трещины при проведении гидроразрыва пласта, определения стоимости мероприятия и оценки рисков» (свидетельство № 2020619401 от 17.08.2020). Комплекс предназначен для выполнения экспресс-оценки параметров трещины ГПИ, определения затрат на проведение, учета возможных рисков, осложнений при проведении мероприятия. При реализации использована архитектура «Клиент-Сервер», что является эргономичным решением при выполнении расчетов на персональном компьютере с невысокой производительностью. Довольно интересным представляется вариант с проведением расчетов в стеке, что позволяет выполнять многовариантное моделирование, факторный анализ.

Автор детально обосновывает принадлежность своего программного продукта к комплексам программ со ссылками на соответствующие регламентирующие документы и положения.

Приводится сравнение расчетных показателей в сравнении с результатами, полученными на зарубежном аналоге FRACPRO. Отмечается высокая степень сходимости. При этом расчет в TSH FRAC позволяет уточнить параметр средней ширины, что повышает точность оценки при расчете продуктивности трещины.

Соответствие паспорту специальности

Представленные в диссертационной работе результаты разработки метода математического моделирования процесса формирования и закрепления трещины гидроразрыва под влиянием расклинивающей вязкой жидкости с примесью частиц и сопутствующая программно-вычислительная реализация соответствуют следующим

пунктам паспорта специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

- Пункт 2. Качественные или аналитические методы исследования математических моделей;

- Пункт 5. Эффективные вычислительные методы и алгоритмы с применением современных компьютерных технологий;

- Пункт 6. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

Замечания по диссертационной работе

1. Исходя из представлений в РКН-постановке, автор оперирует средней шириной трещины, что приводит к некоторой неточности при оценке площади боковой поверхности трещины, как площади фильтрации в пласт.

2. В работе не учтено изменение объема утечки вдоль направления развития трещины в загрязненных зонах в пристеночной области трещины в силу изотропности по проницаемости.

3. В качестве рекомендации можно отметить направление усложнения модели в части учета реологии жидкости разрыва, скин-зоны; повышения размерности модели с целью выполнения расчета высоты трещины при наличии проницаемых границ.

Приведенные замечания носят уточняющий характер и направлены на повышение качества моделирования при проведении автором работ на ближайшую перспективу, не снижают ее научной ценности.

Заключение

Диссертационная работа Шляпкина Алексея Сергеевича «Математическое моделирование процесса гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения пропанта в трещине и фильтрационных утечек в пласт» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Результаты, полученные автором, обладают научной новизной и имеют безусловную практическую ценность. Работа соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, № 842.

Считаю, что Шляпкин Алексей Сергеевич, автор диссертационной работы «Математическое моделирование процесса гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения пропанта в трещине и фильтрационных утечек в пласт», заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

Руководитель программ развития продуктов
Общества с ограниченной ответственностью
«Газпромнефть НТЦ»,
кандидат технических наук
по специальности 25.00.17. Разработка
и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений


Коваленко Игорь Викторович
«19» мая 2022

Общество с ограниченной ответственностью
«Газпромнефть НТЦ»
625048, Тюменская область, г. Тюмень, ул. 50 лет Октября, д. 14
Телефон: 8 (912) 385-68-23
E-mail: Kovalenko.IV@gazpromneft-ntc.ru

Я, Коваленко Игорь Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Шляпкина Алексея Сергеевича «Математическое моделирование процесса гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения проппанта в трещине и фильтрационных утечек в пласт»

Подпись Коваленко Игоря Викторовича заверяю:

Ведущий специалист,
Блок по работе с персоналом и
организационному развитию




Сизикова А.В.