

Отзыв научного руководителя
доктора физико-математических наук
Осипцова Андрея Александровича

на диссертационную работу Канина Евгения Алексеевича по теме «Асимптотические модели процессов массопереноса в задаче роста трещины гидроразрыва», представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

За время обучения в аспирантуре механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Каниным Е.А. была рассмотрена задача о росте трещины гидроразрыва в проницаемой горной породе, в рамках которой проведен анализ влияния трех гидродинамических факторов на эволюцию трещины: (i) флюидообмена между трещиной и пластом, скорость которого зависит от давления внутри канала трещины, (ii) ламинарно-турбулентного течения скользкой воды внутри канала трещины, (iii) вязкопластичной реологии жидкости гидроразрыва. Исследования выполнены на основе модели полубесконечной трещины, известной также как модель концевое элемента, и модели радиальной трещины.

При изучении утечек, зависящих от давления, Евгений построил как модель полубесконечной, так и модель осесимметричной трещины, причем модель концевое элемента была использована в качестве критерия распространения в численном алгоритме для расчета динамики роста радиальной трещины. Анализ влияния смены режима течения внутри канала трещины был проведен для обеих геометрий трещины гидроразрыва. В случае жидкости гидроразрыва с ненулевым пределом текучести была реализована модель радиальной трещины.

В диссертации Евгений описал физические особенности, наблюдаемые при распространении трещины гидроразрыва и связанные с гидродинамическими эффектами (i) – (iii), получил аналитическими и полуаналитическими методами решения для предельных режимов распространения, определил их области применимости внутри параметрических пространств путем сравнения с общим численным решением и построил карты режимов. Можно отметить, что для моделирования роста радиальной трещины в диссертационной работе применено три подхода: два численных и полуаналитический.

В каждой построенной модели Евгений выявил интервалы значений определяющих параметров, для которых необходимо учитывать анализируемый гидродинамический эффект при моделировании распространения трещины. Оценки проведены при помощи сравнения

построенных решений с базовыми: для гидродинамического эффекта (i) базовой моделью является полубесконечная/радиальная трещина с утечками по закону Картера, для фактора (ii) – модель полубесконечной/радиальной трещины с ламинарным течением внутри канала трещины и для эффекта (iii) – модель радиальной трещины, распространяющейся под влиянием жидкости со степенной реологией. В противоположных областях параметрических пространств учитывать гидродинамическое явление не требуется и возможно использование базовой модели.

Диссертация состоит из введения, четырех основных глав и заключения. В первой главе Евгений привел постановки задач и системы уравнений в модели полубесконечной трещины и модели радиальной трещины, которые содержат набор предположений, наиболее распространенный в литературных источниках. В главах 2–4 приведено исследование влияния гидродинамических эффектов (i) – (iii) на рост трещины гидроразрыва. В каждой главе описана мотивация исследования, модификация постановки задачи и системы уравнений, приведенных в главе 1, вследствие учета того или иного гидродинамического эффекта, подход к моделированию, полученные результаты и их анализ.

На мой взгляд, результаты, представленные в диссертации, имеют как теоретическую, так и практическую значимость. Они дают представление потенциальному читателю, какие физические процессы доминируют при росте трещины гидроразрыва с учетом гидродинамических факторов (i) – (iii) в интересующем случае. С их помощью читатель может оценить важность эффектов (i) – (iii) при эволюции трещины и решить, учитывать тот или иной гидродинамический эффект или нет при проектировании работ по гидроразрыву пласта. Разработанные модели конечного элемента могут быть внедрены в модель конечной трещины гидроразрыва, например Planar3D, в качестве критерия распространения, позволяя определить положение фронта трещины на каждом временном шаге. В свою очередь, модель радиальной трещины может быть использована в качестве эталонного решения для верификации численных симуляторов.

Основные результаты диссертации изложены в 5 печатных работах, из них 3 статьи опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science и/или Scopus, среди которых Q1 журналы Journal of Fluid Mechanics, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. По материалам диссертации было сделано 5 докладов на профильных научных семинарах. Результаты работы были представлены на ряде международных и всероссийских конференций:

- Международная конференция AGU Fall Meeting (2019, 2020, 2021).
- Всероссийская конференция молодых специалистов ООО «ЛУКОЙЛ Инжиниринг» (2020).
- Всероссийская конференция «Цифровые технологии в добыче и переработке углеводородов: от моделей к практике» (2020, 2021).
- Международная конференция EAGE E3MOR XVII (2020).

- Международная конференция 14th WCCM & ECCOMAS Congress (2021).
- Международная конференция 82nd EAGE Annual (2021).

Доклад Евгения на конференции «Цифровые технологии в добыче и переработке углеводородов: от моделей к практике» (2020) был признан лучшим в секции «Геомеханическое моделирование и ГРП». За успехи в научных исследованиях Евгению была присуждена стипендия Правительства РФ за 2021/2022 уч. г.

Диссертационная работа «Асимптотические модели процессов массопереноса в задаче роста трещины гидроразрыва» Канина Евгения Алексеевича выполнена на высоком научном уровне и носит завершённый характер. Она соответствует специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы» и удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертационная работа «Асимптотические модели процессов массопереноса в задаче роста трещины гидроразрыва» Канина Евгения Алексеевича может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы».

Я, Осипцов Андрей Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Научный руководитель: Осипцов Андрей Александрович
 доктор физико-математических наук
 (по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»),
 профессор, руководитель проектного центра по энергопереходу и ESG,
 Сколковский институт науки и технологий
 (121205, Москва, Территория Инновационного Центра «Сколково», Большой
 бульвар д.30, стр.1, телефон +7 (495) 280-14-81, e-mail: a.osiptsov@skoltech.ru)

«11» ноября 2022 г.

 А.А. Осипцов

Подпись Осипцова А.А. подтверждено.

Руководитель отдела

КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ



О.С. Гук