



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени М.В.ЛОМОНОСОВА**

**МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

---

---

Отзыв научного руководителя  
доктора физико-математических наук, профессора  
Карликова Владимира Павловича

на диссертационную работу Толмачёвой Кристины Игоревны по теме «Развитие многоконтинуальных моделей фильтрации суспензии», 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 Толмачёвой К.И. проведено исследование влияния важных гео- и гидромеханических эффектов на течения в трещине гидроразрыва и пласте.

Во-первых, Кристина развила модель фильтрации суспензии с одной жидкой фазой путем учета конечной проницаемости упаковки осажденных частиц. При сравнении с экспериментами из открытых источников было установлено, что учет данного эффекта тем важнее, чем интенсивнее происходит захват твердых частиц суспензии. Также в результате анализа имеющихся экспериментальных данных для разных параметров пористой среды и суспензии Кристиной были предложены разные замыкающие соотношения для скорости захвата частиц. Для сокращения числа свободных параметров модели фильтрации также была изучена задача об отрыве сферической частицы от плоской поверхности. В простейшем случае начала движения частицы за счет скольжения и в предположении течения Пуазейля в цилиндрической поре была получена полуэмпирическая формула, с помощью которой можно определить критическую скорость течения, начиная с которой захваченные частицы могут вымываться обратно в поток. Во-вторых, Кристина построила модель фильтрации суспензии с двумя жидкими фазами, используя замыкающие соотношения, полученные в предыдущей главе. Модель была использована для моделирования радиального течения в пласте со скважиной в центре. Моделировался процесс закачки жидкости из скважины в пласт, затем процесс очистки (обратное течение). Кристина предложила способ определения степени восстановления проницаемости породы и продолжительности обратного

течения с максимальной скоростью для оптимизации нефтесервисного процесса. Способ заключается в анализе численных расчетов по проницаемости и скорости вблизи скважины.

Наконец, Кристиной была построена модель течения в трещине, заполненной песком с учетом перпендикулярного притока нефти из пласта. Было показано, что численное моделирование притока крайне важно для точного описания процесса, а использование аналитического решения Картера недооценивает интенсивность притока. Также Кристиной были внедрены модели сжатия упаковки песка и вдавливания песка в стенки трещины. Для описания сжатия использовалась два подхода: аналитический и с использованием экспериментальных данных для определенного размера песка. Получено, что аналитическая модель часто недооценивает интенсивность сжатия. Установлено, что скорость снижения давления в скважине значительно влияет на характер течения в трещине, а интенсивность притока и степень влияния геомеханических факторов поразному сказываются на течении. Поэтому для заданного диапазона параметров была проведена серия численных расчетов с варьированием значений проницаемости породы, начального раскрытия трещины, предела текучести и длины трещины. Для заданного набора параметров Кристина составила схему для определения скорости снижения граничного давления для достижения максимального объема добытой нефти.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Полученные результаты вносят важный вклад в изучение процессов очистки трещины гидроразрыва и прискважинной зоны. Модель течения в трещине может быть использована как часть симулятора, описывающего течение в пласте, нескольких трещинах и скважине. Результаты по снижению раскрытия, проницаемости и пористости за счет геомеханических эффектов и кольтматации могут быть использованы как входные параметры в двумерных моделях течения в трещине. Модель может быть развита для описания добычи газа.

Основные результаты диссертации изложены в 12 печатных работах, 7 из которых индексируются в Web of Science и/или Scopus. По материалам диссертации было сделано 5 докладов на профильных научных семинарах, был получен 1 патент. Результаты работы были представлены на 7 международных и всероссийских конференциях.

Также на основе результатов представленной работы был получен патент на изобретение № 2745684 «Способ сохранения безопасного диапазона проводимости трещины при выводе на режим скважины с ГРП» (приоритет изобретения 16 октября 2020 г.).

Диссертационная работа «Развитие многоконтинуальных моделей фильтрации суспензии» Толмачёвой Кристины Игоревны 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 «Развитие многоконтинуальных  
моделей фильтрации суспензии» Толмачёвой Кристины Игоревны может  
быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 1.1.9 — «Механика  
жидкости, газа и плазмы».

Я, Карликов Владимир Павлович, даю согласие на включение моих  
персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного  
совета, и их дальнейшую обработку.

Научный руководитель: Карликов Владимир Павлович  
доктор физико-математических наук  
профессор, заведующий кафедрой гидромеханики  
механико-математического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова  
(119991, Москва, Ленинские горы, д. 1.  
телефон: +7 (495) 939-39-58, e-mail: karlikov@mech.math.msu.su)

\_\_\_\_\_ В.П. Карликов

Подпись профессора В.П. Карликова удостоверяю:  
декан механико-математического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова,  
член-корр. РАН, профессор

\_\_\_\_\_ А.И. Шафаревич

«18 » апреля 2023г.