

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Толмачёвой Кристины Игоревны на тему: «Развитие многоконтинуальных моделей фильтрации суспензии» по специальности 1.1.9. – «Механика жидкости, газа и плазмы»**

Развитие технологий добычи углеводородов требует углубленного понимания процессов, происходящих при фильтрации суспензий в пористых средах. Поэтому актуальность работы не вызывает сомнений. Выполненное автором исследование фильтрации в упаковке проппанта при очистке трещины гидроразрыва с учетом переноса и осаждения твердых частиц, вязкопластической реологии полимерной несущей жидкости и сопутствующих геомеханических эффектов имеют важное теоретическое и практическое значение.

В первой главе дан обзор публикаций, посвященных описанию процессов захвата и вымывания частиц при фильтрации в пористой среде. Приведены наиболее часто используемые теоретические модели. Выполнено описание технологических процессов, исследованных в диссертации.

Во второй главе в рамках трехконтинуального подхода (жидкая фаза, взвешенные частицы и осажденные частицы) построена модель фильтрации суспензии с учетом переноса, осаждения и вымывания твердых частиц в порах. Новым элементом модели является использование для описания упаковки трех параметров пористости. Для уменьшения числа замыкающих параметров модели была сконструирована полуэмпирическая формула для критической скорости вымывания частиц.

В третьей главе показано, что формула для критической скорости подтверждается экспериментальными данными по вымыванию частиц в трубах и пористых средах. Анализ известных экспериментов по осаждению частиц позволил получить выражения для интенсивности вымывания частиц для различных размеров частиц.

В четвертой главе построена модель фильтрации суспензии с двумя жидкими фазами с учетом слабой сжимаемости жидкостей.

В пятой главе решена задача о радиальном течении суспензии от скважины вглубь пласта с учетом осаждения твердых частиц. В результате трех расчетов для разной концентрации частиц определена интенсивность загрязнения пласта, возможность и оптимальная скорость очистки прискважинной зоны.

В шестой главе рассмотрено течение в трещине гидроразрыва пласта при очистке, когда происходит течение флюида от кончика трещины к скважине. Установлено, что использование формулы Картера, предполагающей постоянство давления в трещине, занижает приток нефти через границу. Установлено, что для корректного моделирования следует учитывать сложную реологию сшитых полимерных жидкостей в рамках модели Гершеля-Балкли. Выполнен анализ влияния нелинейных геомеханических эффектов, возникающих при упруго-пластическом деформировании пачки проппанта и вдавливании жестких зерен проппанта в жесткопластическую стенку трещины.

Переходя к оценке работы, следует отметить высокий теоретический уровень разработок. Практическое значение результатов автора подтверждает их включение в патент.

Достоверность результатов диссертации подтверждается совпадением численных расчетов с известными аналитическими решениями, контролем сходимости и устойчивости решений.

Результаты, представленные в диссертации, были опубликованы в 12 научных статьях, 7 из которых индексируются Scopus и Web of Science.

Хотелось бы сделать следующее замечание. В автореферате приведена формула (11) для критической скорости вымывания частиц, являющаяся одним из основных результатов. К сожалению, в автореферате не удалось найти объяснения параметра  $\Delta\rho$ . Кроме того непонятно как пористость  $\phi$  связана с введенными автором тремя параметрами пористости. Формула (11) является полуэмпирической, но нет объяснения, как она была выведена.

Это замечание не снижает высокой научной ценности выполненного исследования. На основании содержания автореферата и опубликованных работ можно сделать вывод о том, что диссертационная работа «Развитие многоконтинуальных моделей фильтрации суспензии» представляет собой завершённое самостоятельное исследование и соответствует специальности 1.1.9. — «Механика жидкости, газа и плазмы». Диссертация отвечает требованиям пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а ее автор Толмачёва Кристина Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9.— «Механика жидкости, газа и плазмы».

Я, Гарагаш Игорь Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Заведующий лабораторией геомеханики ИФЗ РАН,  
доктор физико-математических наук  
профессор

Дата

подпись

фио

Гарагаш Игорь Александрович—доктор физико-математических наук по специальности 1.6.9 — «Геофизика», профессор, заведующий лабораторией геомеханики. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта Российской Академии Наук (ИФЗ РАН) 123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1

Контактные данные: тел.:+79035588456, e-mail: garagash@ifz.ru

Подпись И.А. Гарагаша заверяю.