

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.059.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ДИНАМИКИ
ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А. САДОВСКОГО РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 сентября 2023 г. № 4/23

о присуждении Пещеренко Александре Борисовне, гражданке РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Быстрые расчетные модели сложной механики гидроразрыва и кислотной обработки пласта» по специальности 1.6.9 – «Геофизика» принята к защите 15 июня 2023 (протокол № 2/23), диссертационным советом 24.1.059.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН), по адресу: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, д. 38, корп. 1 (приказ №1352/нк от 24.10.2022).

Соискатель Пещеренко Александра Борисовна, 14 февраля 1996 года рождения, в 2019 году окончила магистратуру факультета аэрофизики и космических исследований Московского физико-технического института (Государственного университета) по специальности «Прикладные математика и физика». Диссертация выполнена на кафедре прикладной механики Физтех-школы аэрокосмических технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ, Физтех). С 2019 по 2023 г. Пещеренко А.Б. являлась аспиранткой кафедры прикладной механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель — кандидат физико-математических наук

Чупраков Дмитрий Арефьевич, ООО «Технологическая Компания Шлюмберже», Новосибирский Центр, инженер.

Официальные оппоненты:

- Головин Сергей Валерьевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор РАН, профессор кафедры «Теоретическая механика» механико-математического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ), г. Новосибирск;
- Звягин Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры газовой и волновой динамики механико-математического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), г. Москва;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» (г. Москва) — в своем положительном заключении, подписанном Андреем Александровичем Осипцовым, профессором, директором проектного центра по энергопереходу Сколковского института науки и технологий, доктором физико-математических наук, указала на проблемы с точностью определения профиля трещины ГРП при его задании эллиптическим в разделе 1, отсутствие моделирования утечек кислоты в пласт и образования «червоточин» при моделировании кислотной обработки трещиноватого карбонатного коллектора, а также на отсутствие ссылок на несколько важных работ по теме диссертации; при этом в отзыве ведущей организации отмечено, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24

сентября 2013 года, а ее автор Пещеренко А.Б. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 — «Геофизика».

Соискатель имеет 1 патент Российской Федерации и 7 опубликованных научных работ по теме диссертации, из которых 3 работы индексируются Web of Science и Scopus и приравниваются к статьям перечня ВАК.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации (индексируемые в Scopus):

1. Peshcherenko A., Yamborisov M., Belyakova L., Isaev V., Chuprakov D. High-resolution modeling of overflush and its implications for fracture productivity // *Geoenergy Science and Engineering*. — 2023. — P. 211975. / ISSN 2949–8910. DOI: 10.1016/j.geoen.2023.211975.
2. Peshcherenko A., Chuprakov D. An Ultrafast Simulator for 3D Propagation of a Hydraulic Fracture with Rectangular Shape // *Engineering Fracture Mechanics*. — 2021. — № 243 (January). — P. 107512. / DOI: 10.1016/j.engfracmech.2020.107512.
3. Peshcherenko A., Bekеров I., Chuprakov D., Abdrazakov D. Fast-Running Model for High-Volume Hydraulic Fracturing // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. — 2022. — № 213. — P. 110430. / DOI: 10.1016/j.petrol.2022.110430.

Патент:

1. Способ гидроразрыва пласта: пат. 2772626 Рос. Федерация. № 2021113587; заявл. 13.05.21; опубл. 25.05.22.

Публикации в сборниках материалов российских и международных конференций:

1. Peshcherenko A., Anisimov M., Chuprakov D. Effective Modeling of Stimulation and Production Decline From Tight Naturally Fractured Carbonate Reservoirs // *SPE Reservoir Characterisation and Simulation Conference and Exhibition*. — 2023. — P. 212681. ISBN 978-1-61399-973-8 / DOI: 10.2118/212681-MS.

2. Chuprakov D., Belyakova L., Glaznev I., Peshcherenko A. High-Resolution and Multimaterial Fracture Productivity Calculator for the Successful Design of Channel Fracturing Jobs // SPE Russian Petroleum Technology Conference. — 2021. — P. 206654. ISBN 978-1-61399-830-4 / DOI: 10.2118/206654-MS.
3. Peshcherenko A., Chuprakov D. Ultrafast Simulations of Asymmetric Fracture Growth in Length and Height using Lagrangian Mechanics // SPE Symposium: Hydraulic Fracturing in Russia. Experience and Prospects. — 2020. P. 203887. ISBN 978-1-61399-792-5 / DOI: 10.2118/203887-MS.
4. Peshcherenko A., Chuprakov D. The Lagrangian Mechanics of Two-Dimensional Asymmetric Hydraulic Fracture Propagation // 54th U.S. Rock Mechanics / Geomechanics Symposium. — 2020. — Vol. 1 — P. 2172—2186. ISBN 978-1-7138-1890-8. ARMA 20—1362.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные. Во всех отзывах отмечается высокая актуальность и прикладная значимость проведенных исследований.

В отзыве к.ф.-м.н. В.В. Абашкина (Московский научно-исследовательский центр, ООО «ТКШ») отмечено, что автореферат содержит опечатки, а также то, что предложенный метод контроля роста трещины в высоту может быть экономически необоснованным. К.ф.-м.н. А.В. Аксаков (ООО «РН-БашНИПИнефть») отмечает ряд опечаток, а также ставит вопрос об обоснованности результатов расчета сценариев вытеснения гидросмеси в трещине ГРП «чистой» жидкостью (т. н. перепродавки) ввиду отсутствия исследования сходимости модели ГРП и транспорта пропанта при измельчении сетки в автореферате диссертации. К.ф.-м.н. А.Н. Байкин (ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН) в своем отзыве указывает на некоторую «мозаичность» структуры диссертации. К.ф.-м.н. Н.В. Дубиня (Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)) отмечает большое число упрощений при построении «быстрой» модели распространения трещины гидроразрыва пласта второго раздела диссертации, опечатки в тексте диссертации и

возможную экономическую необоснованность метода контроля роста трещины в высоту последнего раздела диссертации. В отзыве О.Я. Извекова (Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)) снова указывается «эклектичность» работы ввиду рассмотрения нескольких самостоятельных задач. Отзыв к.ф.-м.н. А.В. Краснова (ПАО «НК «Роснефть») относит к недостаткам автореферата туманность некоторых формулировок, ввиду которой не сразу понятно, о каких моделях ГРП идет речь (производительность при добыче или механика роста трещины), а также о том, по какой координате (горизонтальной или вертикальной) существует неоднородность коэффициента утечек. В отзыве к.ф.-м.н. А.М. Скопинцева отмечается, что в тексте автореферата присутствует опечатка и отсутствует перечисление предположений модели раздела 2.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

- доктор физико-математических наук С.В. Головин — известный специалист в области математического и экспериментального моделирования пористых, флюидонасыщенных сред, создания компьютерных моделей геофизических процессов, сопровождающих интенсификацию добычи нефти, включая гидроразрыв пласта; является автором более 100 научных статей;
- доктор физико-математических наук А.В. Звягин является известным специалистом в области механики твердого деформируемого тела и задач разрушения, в частности, геомеханики трещин гидроразрыва пласта и пористых насыщенных сред, автором более 120 научных статей.

Выбор ведущей организации обосновывается тематикой, характером и результатами проведенных исследований, относящихся к построению физико-математических моделей и компьютерному моделированию геофизических процессов, происходящих при гидравлическом разрыве пласта.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Получены уравнения механики Лагранжа для асимметричной по длине

трещины ГРП с тремя степенями свободы.

- Реализован симулятор ГРП со временем расчета порядка 1 минуты на 1000 запусков и с учетом взаимодействия трещин.
- Разработана вычислительно эффективная численная модель гидравлического разрыва и кислотной обработки пласта. Модель учитывает как химические, так и физические процессы во время кислотных ГРП и ОПЗ в низкопроницаемых трещиноватых карбонатных коллекторах, а также последующих технологического отстоя и добычи.
- На основе численных расчетов с высоким разрешением установлено, что на успешность операции ГРП с перепродавкой и форму области перепродавки (вытеснения гидросмеси «чистой» жидкостью) наибольшее влияние имеет соотношение вязкостей гидросмеси в трещине ГРП и жидкости перепродавки.
- Описан новый метод гарантированного контроля роста трещины гидроразрыва в высоту путем бурения вспомогательной горизонтальной скважины. Проведены численные расчеты, показывающие эффективность этого метода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Модель асимметричного роста трещины ГРП на основе лагранжева формализма развивает подход к симуляции ГРП, предложенный в работе Biot et al. (1986).
- Созданная модель расчета многостадийного ГРП на масштабе месторождения с учетом взаимодействия трещин позволяет оценивать роль неоднородности коэффициента утечек по вертикали в асимметричном распространении трещины ГРП по высоте.
- Получена физически сопряженная механико-химическая модель кислотной обработки призабойной зоны пласта для трещиноватого коллектора в 2D и 1D.
- Исследованы факторы, определяющие характер вытеснения проппанта чистой жидкостью в распространяющейся трещине ГРП; в результате

многопараметрических исследований установлено, что решающую роль при формировании области вытеснения играет контраст вязкостей гидросмеси в трещине и вытесняющей жидкости.

- Теоретически обоснован «захват» вертикального конца продольной трещины ГРП параллельной скважиной за счет пороупругих эффектов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Быстрая полуаналитическая модель распространения трещины гидроразрыва делает симуляцию разработки месторождений более достоверной. На основе этой модели создан новый программный плагин в комплексе Petrel.
- Модель кислотной обработки призабойной зоны пласта позволяет предсказывать и интерпретировать поведение забойного давления и дебитов скважин в процессе и после кислотных ОПЗ и ГРП с учетом физических и химических эффектов, что ранее не представлялось возможным.
- При исследовании перепродавки определено влияние ряда характеристик закачки на исход операции ГРП с перепродавкой, что повышает осведомленность инженера и дает базу для принятия решений по выбору дизайна ГРП.
- Новый способ удержания роста трещины в высоту гарантирует результат, что подтверждается численными расчетами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность результатов работы была подтверждена в ходе верификации (сверки с точными аналитическими решениями и решениями в коммерческих программных пакетах) и валидации (сверки с полевыми измерениями). Полученные результаты были апробированы на российских и международных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах и сборниках материалов конференций.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении всех этапов

диссертационной работы, включая разработку моделей, их программную реализацию, верификацию и валидацию, анализ полученных расчетных результатов. В основных результатах, выносимых на защиту, вклад диссертанта является определяющим.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания: необходимо формулировать общую цель исследования, дробление на отдельные цели затрудняет восприятие диссертации; недостаточно конкретно сформулированы отдельные положения, выносимые на защиту. Соискатель ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

В ходе заседания диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация А.Б. Пещеренко является актуальным законченным научным исследованием. Личный вклад соискателя в проведение исследований является существенным. Работа обладает научной новизной, практической и фундаментальной значимостью и удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям. Тематика диссертации соответствует п.12 паспорта специальности 1.6.9 – «Геофизика»: «Математическое моделирование и мониторинг геодинамических процессов различных пространственных и временных масштабов. Моделирование блочно-иерархических, самоподобных, пористых, флюидонасыщенных сред. Математическое моделирование эффективных физических свойств горных пород. Развитие методов теории эффективных сред для определения эффективных физических свойств горных пород. Экспериментальные и теоретические исследования процедур осреднения геофизических полей и физических характеристик таких сред».

При проведении тайного голосования из 21 утвержденных членов диссертационного совета на заседании присутствовало 16 членов совета, из них 8 докторов наук по специальности 1.6.9 – «Геофизика». Результаты голосования о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

На заседании 21 сентября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Пещеренко А.Б. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 – «Геофизика».

Зам. председателя диссертационного совета
24.1.059.01, доктор физ.-мат. наук

Ученый секретарь диссертационного совета
24.1.059.01, доктор физ.-мат. наук



21.09.2023