

Заключение диссертационного совета МГУ.011.5

по диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от «9» июня 2023 г. № 17

О присуждении Скрылевой Евгении Игоревне (гражданство РФ) ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертация «Исследование влияния неустойчивости Саффмана-Тейлора, капиллярных эффектов и химических взаимодействий между фазами на процесс вытеснения вязкой жидкости из пористой среды» по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите диссертационным советом МГУ.011.5 20 апреля 2023 года, протокол № 17-П.

Соискатель Скрылева Евгения Игоревна, 1991 года рождения, в 2013 году окончила механико-математический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. В 2019 году соискатель окончил очную аспирантуру отделения механики механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Соискатель работает на кафедре газовой и волновой динамики механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена на кафедре газовой и волновой динамики механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Смирнов Николай Николаевич, профессор кафедры газовой и волновой динамики механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, профессор кафедры высокопроизводительных вычислений Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, заместитель директора Федерального научного центра Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Афанасьев Андрей Александрович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник НИИ механики МГУ;

Турунтаев Сергей Борисович, доктор физико-математических наук, директор Института

динамики геосфер имени М. А. Садовского Российской академии наук;

Осипцов Андрей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, руководитель Проектного центра по энергопереходу и ESG в Сколковском институте науки и технологий;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 24 работы, из них 11 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»:

1. Skryleva E.I. Numerical simulation of multiphase flow in a porous medium in the presence of heat and mass transfer between phases / Skryleva E.I. // Heat Transfer Research. — 2023 — том 54 — № 2 — с. 1-10 — DOI:10.1615/HeatTransRes.2022044787 (WoS, Q3, Impact Factor JCR - 1,975) (0,62 п.л./ авторский вклад 0,62 п.л.)
2. Скрылева Е.И. (в соавторстве). Эволюция поверхности раздела фаз при вытеснении вязких жидкостей из пористой среды / Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф., Коленкина (Скрылева) Е.И., Газизова Д.Р. // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. — 2021 — № 56 — с. 80-93 (0,87 п.л./ авторский вклад 0,44 п.л.) (англ: Smirnov N.N., Nikitin V.F., Kolenkina E.I., Gazizova D.R. Evolution of a Phase Interface in the Displacement of Viscous Fluids from a Porous Medium // Fluid Dynamics — 2021 — том 3 — № 1 — с. 20-27 (WoS, Q4, Impact factor JCR– 0.673) (0,5 п.л./ авторский вклад 0,25 п.л.))
3. Skryleva E.I. et al. Capillary driven fluid flows in microgravity / Smirnova M.N., Nikitin V.F., Skryleva E.I., Weisman Yu. G. // Acta Astronautica. — 2022 — том 204 — с. 892-899 — DOI: 10.1016/j.actaastro.2022.10.037 (WoS, Q1, Impact Factor - 2.954) (0,5 п.л./ авторский вклад 0,25 п.л.)
4. Skryleva E.I. et al. Mathematical modeling of hydraulic fracture formation and cleaning processes / Smirnov Nickolay, Li Kairui, Skryleva Evgeniya, Pestov Dmitriy, Shamina Anastasia, Qi Chengzhi, Kiselev Alexey // Energies — 2022 — том 15 — с. 1-35 (WoS, Q1, Impact Factor JCR - 3.252) (2,19 п.л./ авторский вклад 1,1 п.л.)
5. Skryleva E.I. et al. Control of capillary driven fluid flows for safe operation of spacecraft fluids supply systems using artificial porous media / Nikitin V.F., Skryleva E.I., Weisman Yu G. // Acta Astronautica — 2021 — том 194 — с. 544-548 — DOI: 10.1016/j.actaastro.2021.12.009 (WoS, Q1, Impact Factor - 2.954) (0,31 п.л./ авторский вклад 0,16 п.л.)

6. Skryleva E.I. et al. Multiple capillary-driven imbibition of a porous medium under microgravity conditions: Experimental investigation and mathematical modeling / Dushin V.R., Smirnov N.N., Nikitin V.F., Skryleva E.I., Weisman Y.G. // *Acta Astronautica*. — 2021 — том 193 — с. 572-578 — DOI: 10.1016/j.actaastro.2021.06.054 (WoS, Q1, Impact Factor - 2.954) (0,44 п.л./ авторский вклад 0,22 п.л.)
7. Skryleva E.I. et al. Microgravity investigation of seepage flows in porous media / Smirnov N.N., Nikitin V.F., Skryleva E.I. // *Microgravity Science and Technology* — 2019 — том 31 — № 5 — с. 629-639 — DOI: 10.1007/s12217-019-09733-7 (WoS, Q2, Impact factor JCR– 1.845) (0,69 п.л./ авторский вклад 0,35 п.л.)
8. Skryleva E.I. et al. Microgravity investigation of capillary driven imbibition / Dushin V.R., Nikitin V.F., Smirnov N.N., Skryleva E.I., Tyurenkova V.V. // *Microgravity Science and Technology* — 2018 — том 30 — № 4 — стр. 393-398 — DOI: 10.1007/s12217-018-9623-8 (WoS, Q2, Impact factor JCR– 1.845) (0,38 п.л./ авторский вклад 0,19 п.л.)
9. Skryleva E.I. et al. Microgravity investigation of capillary driven seepage flows in artificial porous media and natural sands / Smirnova M.N., Nikitin V.F., Skryleva E.I., Weisman Yu G. // *Proceedings of 72st International Astronautical Congress, Dubai, United Arab Emirates* — 2021 — IAC-21,A2,2,1,x65529 (Scopus, Impact Factor SJR - 0.19) (0,44 п.л./ авторский вклад 0,22 п.л.)
10. Skryleva E.I. et al. Microgravity Investigation of Capillary-Driven Imbibition into an Inhomogeneous Porous Medium / Kolenkina(Skryleva) E.I., Nikitin V.F., Dushin V.R., Smirnov N.N., Shamina A.A., Weisman Yu G. // *Proceedings of 71st International Astronautical Congress (IAC) – The CyberSpace Edition* — 2020 — IAC-20,A2,2,3,x57771 (Scopus, Impact Factor SJR - 0.19) (0,38 п.л./ авторский вклад 0,19 п.л.)
11. Skryleva E.I. et al. Microgravity investigation of capillary forces in imbibition of fluid into porous media / Dushin V.R., Skryleva E.I., Nikitin V.F. // *Proceedings of 69th International Astronautical Congress, Bremen, Germany* IAC-18,A2,2,4,x44591 (Scopus, Impact Factor SJR - 0.19) (0,56 п.л./ авторский вклад 0,28 п.л.)

На автореферат поступило три дополнительных отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что они являются известными специалистами в области механики жидкости, газа и плазмы, авторами многих публикаций по тематике, близкой к тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые

научные результаты. В диссертации рассмотрено неустойчивое вытеснение вязкой жидкости из пористой среды, математические модели и программные пакеты валидированы на экспериментальном базисе. Предложен метод оценки площади поверхности раздела фаз, растущей за счёт неустойчивости Саффмана-Тэйлора. Предложен метод многомасштабного моделирования нелинейных процессов подземной гидродинамики, запатентованный Скрылевой Евгенией Игоревной с соавторами. Метод реализован на задаче моделирования термогазового способа нефтедобычи с учётом мелкомасштабной неустойчивости (когда между фильтрующимися флюидами происходят экзотермические химические реакции, скорость которых, в частности, зависит от площади соприкосновения реагентов). В диссертации также исследована капиллярная пропитка пористой среды в условиях микрогравитации. Проведена обработка и анализ экспериментальных данных. Проведено численное моделирование процесса многократной пропитки пористой среды в условиях непостоянной гравитации и подтверждена работоспособность программного пакета на экспериментальном базисе. Описан новый вид неустойчивости: «капиллярная» неустойчивость. Исследовано влияние учета нестационарности в уравнении импульса на результаты моделирования капиллярной пропитки. В работе предложен новый безразмерный критерий, характеризующий соотношение вынужденной конвекции и дисперсии за счет капиллярных сил, показывающий, при каких условиях необходим учёт капиллярного давления при моделировании фильтрационных процессов. Кроме того, в диссертации проведено вычислительное исследование влияния области повышенной пористости и проницаемости на вытеснение нефти из модельного коллектора.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Реализованный в диссертации метод для многомасштабного моделирования нелинейных процессов подземной гидродинамики позволяет учитывать процессы, происходящие на микроуровне, при моделировании на макроуровне путём добавления дополнительных потоковых членов в определяющую систему уравнений, а также позволяет моделировать химические взаимодействия между фазами с учётом гидродинамической неустойчивости и увеличения площади межфазного контакта.

2. Предложенный в диссертации метод определения площади нерегулярной изоповерхности контакта фаз, обработка результатов вычислительных параметрических исследований и полученные функциональные формы для определения коэффициентов, отвечающих за размытие фронта за счёт неустойчивости вытеснения на мелком масштабе, позволили показать, что размытие фронта вытеснения существенно интенсифицирует

химические реакции и ускоряет процесс вытеснения.

3. Инерционные члены в уравнении баланса импульса существенно влияют на динамику капиллярной пропитки пористой среды, когда новый параметр, выражающий отношение «характерного времени инерции при фильтрационных процессах» и характерного времени капиллярной пропитки превосходит единицу. Тип смачиваемости среды необходимо учитывать, когда безразмерный критерий, характеризующий соотношение вынужденной и капиллярной конвекции, уменьшается ниже некоторого критического значения.

4. В коротких трещинах гидроразрыва процесс очистки трещины идет быстрее и процесс фильтрации происходит более равномерно. В случае, когда жидкость гидроразрыва имеет более высокую вязкость, чем вытесняющий агент, возможно, что при очистке прорыв нефти произойдет около скважины, а не через трещину. То есть трещина гидроразрыва пласта оказывается не полностью подключенной к процессу сбора нефти. Трещина гидроразрыва пласта лишь интенсифицирует нефтедобычу, но не увеличивает коэффициент извлечения нефти.

На заседании 9 июня 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Скрылевой Евгении Игоревне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 16 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета МГУ.011.5,

доктор физико-математических наук, профессор

А.Н. Осипцов

Ученый секретарь

диссертационного совета МГУ.011.5,

кандидат физико-математических наук

Д.А. Пелевина

Подписи удостоверяю:

Декан механико-математического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова,

доктор физико-математических наук,

профессор, член-корреспондент РАН

А.И. Шафаревич

9 июня 2023 г.