

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д.212.173.06, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.09.2022 г. протокол № 9

О присуждении Овчинниковой Анастасии Сергеевне, гражданке Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Численное моделирование процессов неизотермической многофазной фильтрации в задачах нефтедобычи с учетом различного взаимодействия фаз и фазовых переходов» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование численные методы и комплексы программ» принята к защите от 24.06.2022 г. (протокол заседания № 19) диссертационным советом Д 212.173.06, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Овчинникова Анастасия Сергеевна 29 октября 1996 года рождения. В 2020 году соискатель окончила магистратуру по направлению «Прикладная математика и информатика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Соискатель продолжает обучение в аспирантуре Новосибирского государственного технического университета по направлению 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника», нормативный период обучения с 01.09.2020 г. по 31.08.2024 г. Работает ассистентом кафедры прикладной математики в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена на кафедре прикладной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Персова Марина Геннадьевна, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», научно-исследовательская лаборатория моделирования и обработки данных наукоемких технологий, заведующая научно-исследовательской лабораторией.

Официальные оппоненты:

Никифоров Анатолий Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, Институт механики и машиностроения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», лаборатория математического моделирования процессов фильтрации, заведующий лабораторией;

Никитенко Марина Николаевна, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория многомасштабной геофизики, ведущий научный сотрудник, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, утвержденном директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук», профессором РАН, д.ф.-м.н. Марченко Михаилом Александровичем, подписанном Виктором Митрофановичем Свешниковым, д.ф.-м.н., г.н.с. лаборатории вычислительной физики, указала, что

«Диссертационная работа Овчинниковой А.С. «Численное моделирование процессов неизотермической многофазной фильтрации в задачах нефтедобычи с

учетом различного взаимодействия фаз и фазовых переходов» представляет собой научно-квалификационную работу, посвященную решению актуальной научной и практической проблемы. Разработанные подходы и программы имеют существенное значение для развития методов моделирования различных процессов многофазной фильтрации и применялись для решения практических задач нефтедобычи.

Работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» и специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, поскольку в работе присутствуют результаты по всем трем составляющим специальности:

1) Математическое моделирование:

–предложена математическая модель неизотермической многофазной фильтрации сжимаемых фаз с учетом различного взаимодействия фаз (химические реакции, перемешивание фаз, растворение газа и дегазация) и фазовых переходов

2) Численные методы:

–разработаны алгоритмы численного трехмерного моделирования многофазного многокомпонентного сжимаемого потока фаз в условиях химических и тепловых воздействий на пластовую систему

3) Комплексы программ:

–разработана подсистема программного комплекса, реализующая предложенный численный метод моделирования процессов неизотермической многофазной фильтрации.

Диссертационная работа Овчинниковой А.С. соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

П.1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений

П.3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий

П.4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

Автор диссертации, Овчинникова Анастасия Сергеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 17 работ, их них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК – 4 работы, в рецензируемых научных изданиях, индексируемых Web of Science и/или Scopus – 10 работ, общий авторский вклад не менее 3,4 п.л. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Получен акт внедрения. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют.

Перечень наиболее значимых работ автора, в которых отражено основное содержание диссертационной работы и ее результатов:

1. Конечноэлементное моделирование многофазных потоков с их балансировкой при фиксировании рабочего давления на скважинах в процессе нефтедобычи / Овчинникова А.С., Патрушев И.И., Гриф А.М., Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г. // Вычислительные методы и программирование. 2022, – Т. 23, №1. – С. 60–74.

Соискателем разработана конечноэлементная аппроксимация при расчете давления в задачах нефтедобычи.

2. Численное моделирование нефтедобычи с применением ПАВ-полимерного заводнения / М.Г. Персова, Ю.Г. Соловейчик, И.И. Патрушев, А.С. Овчинникова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. - 2021. – Т. 21, № 4. – С. 544–558.

Соискателем разработан алгоритм расчета изменений объемов фаз при моделировании химических реакций.

3. Применение процедуры группирования конечных элементов для повышения эффективности моделирования нестационарного многофазного потока в высоконеоднородных трехмерных пористых средах / М.Г. Персова, Ю.Г. Соловейчик, И.И. Патрушев, А.С. Овчинникова // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, 2021 – № 57. – С. 34–44.

Соискателем разработан алгоритм расчета потоков фаз с учетом влияния гравитационных сил.

4. Овчинникова А.С. Вычислительная схема для расчета температурного поля при решении задач нефтедобычи // Системы анализа и обработки данных. – 2021. – № 4 (84). – С. 37–48.

5. Soloveichik Y.G., Persova M.G., Grif A.M., Ovchinnikova A.S., Patrushev I.I., Vagin D.V., Kiselev D.S. A method of FE modeling multiphase compressible flow in hydrocarbon reservoirs // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2022. Vol. 390. Art. 114468. (Q1 WoS/ Q1 Scopus)

Соискателем разработан метод линеаризации правых частей уравнения для давления и краевых условий при моделировании процессов фильтрации сжимаемых фаз.

6. Ovchinnikova A.S., Patrushev I.I., Grif A.M. Modeling of Gas-liquid Mixture Flow Considering the Processes of Gas Liberation and Dissolution // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2021): proc. of the 15 intern. sci. and techn. conf., Novosibirsk, 19–21 Nov. 2021. – Novosibirsk : Publ. NSTU, 2021. P. 568-572.

Соискателем разработаны математическая модель и алгоритмы численного моделирования многофазных потоков сжимаемых фаз с учетом процессов выделения/поглощения газа из нефти.

7. Ovchinnikova A.S. Computational Scheme of Temperature Field Calculation During Modeling Multiphase Flow in Porous Media // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2021): proc. of the 15 intern. sci. and techn. conf., Novosibirsk, 19–21 Nov. 2021. – Novosibirsk: Publ. NSTU, 2021. – P. 564-567.

8. Analysis of the polymer flooding efficiency in one of the high-viscosity oil fields based on mathematical modeling / M.G. Persova, Y.G. Soloveichik, A.S. Ovchinnikova, D.S. Kiselev, I. I. Patrushev // Геомодель 2021: 23 науч.-практ. конф. по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа, Геленджик, 6–10 сент. 2021 г. – Геленджик: EAGE, 2021. – С. 1–6.

Соискателем разработаны алгоритмы численного моделирования многофазного многокомпонентного потока фаз в пористых средах.

9. Numerical 3D simulation of enhanced oil recovery methods for high-viscosity oil field / M.G. Persova, Y.G. Soloveichik, A.S. Ovchinnikova, I.I. Patrushev, A.V. Nasybullin, E.V. Orekhov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Tomsk, 2019. – Art. 012050.

Соискателем разработана вычислительная схема для моделирования химических реакций с учетом их скоростей.

На диссертацию и автореферат поступили 5 отзывов (все положительные):

1. Насыбуллина Светлана Вячеславовна, кандидат технических наук, Татарский научно-исследовательский и проектный институт нефти публичного акционерного общества «Татнефть» имени В.Д. Шашина, старший научный сотрудник.

Замечание. В автореферате описаны различные входные данные для подсистемы моделирования многофазной фильтрации, включая описание гидродинамической модели, компонентный состав флюида, правила перемешивания фаз и химических реакций, однако отсутствует информация о данных для тепловых методов.

2. Саяхов Вадим Аликович, кандидат технических наук, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт», кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, доцент.

Замечание. В работе рассматриваются химические методы разработки, в частности с использованием полимерного и ПАВ-полимерного воздействий, которые изменяют свойства флюидов и породы, при этом неясно, возможен ли учет процессов адсорбции?

3. Богданович Денис Васильевич, кандидат физико-математических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Геоинверсия», генеральный директор.

Замечания.

1) Какая требуется вычислительная мощность для работы программного комплекса? Это важно с точки зрения практики. Какие характерные времена свойственны расчетам - часы, дни или недели требуются для выработки некоего прогноза по нефтеотдаче в результате анализа того или иного способа ее повышения?

2) Почему в МКЭ используются ячейки в виде шестигранников? Кроме того, в заключении указано, что использование неконформных конечноэлементных сеток позволяет уменьшить вычислительные затраты почти на порядок, при этом в тексте автореферата в явном виде не сказано, из какой специфики задачи выбрана такая геометрия ячеек и не приведены вычислительные затраты.

4. Абрамов Михаил Владимирович, кандидат технических наук, Акционерное общество «ЕМ-Разведка», старший научный сотрудник.

Замечание. Разработанные программы моделирования многофазной фильтрации представлены в виде подсистемы программного комплекса. Может ли данная подсистема использоваться в качестве отдельной программы?

5. Долгаль Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник.

Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Доктор физико-математических наук, профессор Никифоров Анатолий Иванович – специалист в области численного моделирования процессов многофазной фильтрации.

Доктор технических наук Никитенко Марина Николаевна – специалист в области численного моделирования и обработки данных в геофизических технологиях, включая технологии исследования нефтегазовых месторождений.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук» много лет занимается методами вычислительной математики и решением различных геофизических задач, включая задачи многофазной фильтрации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель и алгоритмы численного трехмерного моделирования процессов многофазной неизотермической фильтрации для решения задач нефтедобычи;

разработаны новые подходы и вычислительные схемы, позволяющие моделировать фазовые переходы и различные химические реакции, сопровождающиеся выделением или поглощением тепла;

предложена вычислительная схема для расчета температурного поля с учетом переноса тепла флюидами, позволяющая учитывать теплообмен между породой и смесью флюидов в коллекторе.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработанные методы позволяют расширить возможности моделирования течения многофазной смеси в пористых средах с использованием метода конечных элементов;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован метод конечных элементов с аппроксимацией полей давления и насыщенностей на несогласованных сетках;

предложен метод расчета изменения фазово-компонентного состава в результате химических реакций, фазовых переходов, сжимаемости фаз; алгоритм расчета давления с учетом изменения объемов фаз, образовавшихся в расчетной области; методы расчета потоков фаз на основе вычисленного поля давления и обновления фазово-компонентного состава и температурного поля;

разработан подход для расчета нового фазово-компонентного состава по полю давления;

предложена модификация математической модели, позволяющая минимизировать вычислительные затраты при решении нелинейного уравнения для давления путем линеаризации вкладов в дефицит/профицит объема смеси от различных протекающих в ней физико-химических процессов.

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

программный комплекс с разработанной программной подсистемой, реализующей численный метод моделирования неизотермической многофазной фильтрации, **использовался** для моделирования, автоматической автоадаптации моделей и оптимизации месторождений Республики Татарстан, о чем свидетельствует акт об использовании результатов научных исследований, выполненных соискателем;

представлены результаты численного моделирования различных технологий разработки месторождений для моделей реальных месторождений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

проведена верификация предложенного численного метода моделирования неизотермической многофазной фильтрации путем решения задач, имеющих аналитическое решение, а также сравнением результатов решений модельных задач с результатами, полученными с использованием программного комплекса Tempest;

предложенные в работе подходы к моделированию процессов поглощения газа жидкостью и дегазации, а также к решению тепловой задачи были **верифицированы** сравнением результатов для задач из международного сравнительного проекта SPE с решениями других авторов;

корректность разработанного численного метода **подтверждена** проверкой выполнения законов сохранения энергии и масс компонент в системе в условиях переходов компонент между фазами и химического воздействия на пластовую систему, сопровождающегося образованием новой фазы и выделением тепла.

Личный вклад соискателя состоит в разработке и программной реализации метода численного моделирования процессов неизотермической многофазной фильтрации, основанного на неявном расчете давления с использованием метода конечных элементов и явном переносе фаз и пересчете их насыщенных на конечных элементах; разработке основных алгоритмов трехмерного моделирования процессов многофазной фильтрации для решения задач нефтедобычи; верификации разработанной подсистемы программного комплекса моделирования процессов многофазной фильтрации и проведении исследований работоспособности предложенного численного метода для решения практических задач нефтедобычи с использованием тепловых и химических методов увеличения нефтеотдачи.

В ходе защиты диссертации соискателю были заданы вопросы: о выборе тестовых задач для верификации разработанного численного метода, о ключевых особенностях разработанных методов и программы, о вычислительных затратах предложенного метода учета гидростатического давления на скважинах.

Соискатель Овчинникова А.С. аргументировано ответила на все заданные ей в ходе заседания вопросы.

На заседании 21 сентября 2022 г. диссертационный совет принял решение за разработку математической модели и алгоритмов численного моделирования процессов неизотермической многофазной многокомпонентной фильтрации

сжимаемых фаз с учетом различного взаимодействия фаз и фазовых переходов присудить Овчинниковой А.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.13.18, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту - нет, проголосовали: за 17, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного

 Лемешко Борис Юрьевич

Ученый секретарь
диссертационного

Фаддеенков Андрей Владимирович

21 сентября 2022 г.