

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 № 8

О присуждении Грифу Александру Михайловичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов создания трехмерных геолого-гидродинамических моделей и постобработки многофазных потоков при конечноэлементном моделировании процессов нефтедобычи» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование численные методы и комплексы программ» принята к защите от 09.06.2022 г., протокол № 14 диссертационным советом Д 212.173.06 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 Гриф Александр Михайлович, 15 июня 1995 года рождения. В 2019 году соискатель окончил 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 01.09.2019 г. по 31.08.2023 г. Работает ассистентом кафедры прикладной математики в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

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 – Соловейчик Юрий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра прикладной математики, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Поташев Константин Андреевич, д.ф.-м.н., доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра аэрогидромеханики, заведующий кафедрой,

Белая Анастасия Александровна, к.т.н., Акционерное общество «ЕМ-разведка», лаборатория математического моделирования, заведующая лабораторией,

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 заключении**, утвержденным 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 Грифа А.М. на тему: «Разработка методов создания трехмерных геолого-гидродинамических моделей и постобработки многофазных потоков при конечноэлементном моделировании процессов нефтедобычи» является завершенной научно-квалификационной работой, которая посвящена решению актуальной научной и практической задаче. Полученные научные результаты и разработанные программные средства имеют существенное значение для решения практических задач нефтедобычи. Выводы автора являются достаточно обоснованными и подтверждаются большим количеством вычислительных экспериментов.

Работа соответствует требованиям положения «О порядке присуждения 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 новая математическая модель и метод расчета сбалансированных потоков (метод балансировки потоков), который позволяет получать решение требуемой точности на достаточно грубых конечноэлементных сетках, и тем самым существенно сокращает вычислительные затраты;

- предложен метод построения стартовой геолого-гидродинамической модели месторождения и ее параметризация, которые позволяют эффективно выполнять автоадаптацию модели по истории разработки.

2) Численные методы:

- разработан метод расчета численных сбалансированных потоков по конечноэлементной аппроксимации поля давления;

- разработан метод построения бикубических сглаживающих сплайнов, коэффициенты которых находятся в результате минимизации функционала с регуляризирующими добавками весовыми функциями специального вида, а также методы аппроксимации трехмерных неоднородностей.

3) Комплексы программ:

- разработаны модули графического интерфейса пользователя (пре- и постпроцессор) программного комплекса гидродинамического моделирования нефтедобычи, который предоставляет широкие возможности для создания и анализа трехмерных геолого-гидродинамических моделей нефтяных месторождений;

- разработана подсистема балансировки численных потоков в программном комплексе моделирования процессов многофазной фильтрации.

Диссертационная работа Грифа А.М. соответствует следующим областям исследований паспорта специальности:

1) «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»;

3) «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»;

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

Автор диссертации, Гриф Александр Михайлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности».

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, из них по теме диссертации 19 работ, в том числе 3 научные публикации, опубликованные в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 11 научных публикаций, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и/или Scopus, получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Получен акт о внедрении результатов работы в ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт». Суммарный объем личного вклада в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 2,69 п.л. В диссертации и опубликованных работах недостоверные сведения отсутствуют.

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

1. Гриф А.М., Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г. Определение влияния нагнетательных скважин на добывающие в динамике их работы с использованием гидродинамического моделирования // Научный вестник НГТУ. 2019, Т. 77, № 4. С. 31–44.

2. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Гриф А.М. Балансировка потоков на неконформных конечноэлементных сетках при моделировании многофазной фильтрации // Программная инженерия. 2021. Т. 12, № 9. С. 450–458.

3. 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.

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

5. The design of high-viscosity oil reservoir model based on the inverse problem solution / Persova M.G., Soloveichik Y.G., Vagin D. V., Grif A.M., Kiselev D.S., Patrushev I.I., Nasybullin A.V., Ganiev B.G. // Journal of Petroleum Science and Engineering. Elsevier B.V., 2021. Vol. 199. P. 108245. (Q1 WoS/ Q1 Scopus)

6. Grif A.M. Creation of a Starting Model of the Reservoir Based on a Set of Well Data // 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. 573–578.

7. 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.

8. Flow balancing in FEM modelling of multi-phase flow in porous media / M.G. Persova, Y.G. Soloveichik, A.M. Grif, I.I. Patrushev // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018): тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г.: в 8 т. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. Т. 1, ч. 4. С. 205–211.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все положительные):

1. Прядко Сергей Александрович, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», кафедра Прикладной математики и компьютерного моделирования, доцент, г. Москва. Рецензент указал, что в диссертации рассматриваются методы построения трехмерных моделей для нефтяных месторождений, однако не дана оценка применимости разработанных методов для других типов месторождений, например, нефтегазовых. Также в автореферате хотелось бы видеть способ вычисления интеграла (1) и аргументированный переход от минимизации функционала к системе (6).

2. Насыбуллин Арслан Валерьевич, доктор технических наук, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт», кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, заведующий кафедрой, г. Альметьевск. Рецензент отметил

краткость информации о моделях месторождений, используемых для экспериментальных исследований.

3. Беляшов Андрей Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук», старший научный сотрудник, г. Новосибирск. Рецензент отмечает, что при построении поверхностей пластовой системы для получения более качественного результата целесообразно было бы воспользоваться данными сейсмической разведки, а не только уровнями глубин в местоположениях скважин. На некоторых рисунках отсутствует легенда с размерной шкалой и единицами измерения, что несколько снижает информативность.

4. Тарасов Евгений Борисович, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», кафедра Информационных технологий транспорта, доцент, г. Новосибирск. Рецензент отметил, что при описании разработанного программного комплекса не указано, какие современные инструментальные средства, технологии и языки программирования использовались при его разработке.

5. Семенов Александр Сергеевич, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», директор Политехнического института (филиала), г. Мирный. 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, доцент Поташев Константин Андреевич – специалист в области численного моделирования процессов многофазной фильтрации.

Кандидат технических наук Белая Анастасия Александровна – специалист в области математического моделирования и разработки программного обеспечения для построения геолого-геофизических моделей месторождений полезных ископаемых.

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:

предложены: новый метод балансировки численных потоков при конечноэлементном моделировании процесса многофазной фильтрации, в том числе при использовании несогласованных сеток; новый метод построения стартовой трехмерной геолого-гидродинамической модели месторождения по скважинным данным; метод формирования внутренней структуры неоднородностей фильтрационно-емкостных свойств и фазово-компонентного состава пласта, определяющий параметризацию геолого-гидродинамической модели для ее последующей адаптации; новый способ построения поверхностей пластов в модели месторождения, которые описываются с помощью кубических сглаживающих сплайнов, коэффициенты которых находятся в результате минимизации функционала с регуляризирующими добавками и весовыми функциями специального вида;

разработаны и программно реализованы подсистемы программного комплекса моделирования многофазных течений в задачах нефтедобычи – графический интерфейс пользователя и модуль балансировки численных потоков, предоставляющие широкие возможности для создания и анализа трехмерных геолого-гидродинамических моделей месторождений;

показана корректность работы выполненных программных реализаций предложенных методов при создании трехмерных геолого-гидродинамических моделей нефтяных месторождений по практическим данным, а также при решении задач нефтедобычи.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно использованы: метод конечных элементов, метод построения сглаживающих сплайнов и регуляризация;

изложен метод и алгоритм балансировки численных потоков смеси, а также метод создания трехмерной геолого-гидродинамической модели месторождений по скважинным данным;

изучены: влияние ориентации конечноэлементной сетки при использовании метода балансировки потоков; эффективность метода балансировки потоков в сравнении с расчетом без использования данного метода и в сравнении с технологией постобработки, основанной на методе проецирования; вычислительная эффективность применения неконформных сеток при моделировании реальных месторождений; качество создаваемых стартовых геолого-гидродинамических моделей и их применимость для процесса автоадаптации;

проведена модернизация технологии постобработки численных потоков, основанной на методе проецирования (авторы M.F. Wheeler и др.) за счет использования новых весовых функций, обеспечивающих более точный результат моделирования; существующих схем параметризации трехмерной геолого-гидродинамической модели месторождения за счет использования геометрических параметров; метода построения поверхностей пластов, обеспечивающего их гладкость в окрестностях скважин.

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

разработанные подсистемы программного комплекса моделирования многофазных течений в задачах нефтедобычи (интерфейсная часть, подсистема автоматизированного построения стартовой геолого-гидродинамической модели и реализующие метод балансировки программные модули) **внедрены** в Альметьевском государственном нефтяном институте, выполняющим работы по заказу ПАО «Татнефть», о чем свидетельствует акт об использовании результатов научных исследований, выполненных соискателем;

определены перспективы применения разработанных подсистем программного комплекса для решения практических задач нефтедобычи;

создан программный комплекс для ЭВМ, реализующий методы гидродинамического моделирования;

представлены результаты решения задач многофазной фильтрации и создания цифровых моделей нефтяных месторождений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория согласована с фундаментальными моделями гидродинамики;

идея базируется на анализе недостатков методов численного моделирования процессов многофазной фильтрации;

использовано сравнение с результатами, полученными другими авторами (M.F. Wheeler, S. Lee, S. Sun и др.), сопоставление с результатами, опубликованными в сравнительном проекте международного общества инженеров-нефтяников SPE (Society of Petroleum Engineers) и сравнение результатов моделирования с практическими данными со скважин нефтяных месторождений;

установлено высокое соответствие авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках, и с данными нефтедобычи со скважин нефтяных месторождений Республики Татарстан.

использованы современные методы численного моделирования и разработки программного обеспечения.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке и программной реализации подсистем программного комплекса моделирования многофазных течений в задачах нефтедобычи – графического интерфейса пользователя и модуля балансировки численных потоков; разработке алгоритмов параметризации геолого-гидродинамической модели и формирования поверхностей пластовой системы; исследовании работоспособности разработанных подсистем программного комплекса при создании стартовых трехмерных моделей реальных месторождений и их использовании при автоадаптации; исследовании вычислительной эффективности метода балансировки потоков, в том числе при оценке влияния ориентации конечноэлементных сеток, использовании неконформных сеток и сравнении с моделированием без применения балансировки потоков и с использованием технологии постобработки, основанной на методе проецирования.

В ходе защиты диссертации соискателю были заданы вопросы: о вычислительных затратах для выполнения процедуры балансировки потоков, о сути применения ячеек Вороного, о преимуществе метода балансировки относительно метода проецирования, о выборе языка программирования для программной реализации методов, о верификации метода балансировки, о личном вкладе в публикациях по теме диссертации, о сравнении с другими программными комплексами, о возможности

