

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПОНЕНТА

на диссертацию Овчинниковой Анастасии Сергеевны

«Численное моделирование процессов неизотермической многофазной фильтрации в задачах нефтедобычи с учетом различного взаимодействия фаз и фазовых переходов»
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При разработке нефтегазовых месторождений математическое моделирование гидродинамических процессов в коллекторе играет важную роль. С его помощью можно значительно повысить эффективность разработки месторождения. С учетом того, что количество скважин на разрабатываемом месторождении может достигать нескольких сотен, необходима разработка методов моделирования, которые наряду с обеспечением необходимого уровня адекватности, определяемого максимально корректным учетом сложной структуры многопластовых коллекторов, расположением скважин и зон перфорации в них, были бы вычислительно эффективными. Диссертационная работа Овчинниковой А.С. направлена на решение этой проблемы и поэтому является актуальной.

СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ И АВТОРЕФЕРАТА

Текст диссертации хорошо структурирован, включает введение, пять глав, заключение, список литературы (из 119 наименований) и два приложения. Диссертационная работа изложена на 152 страницах.

Во введении приведен анализ отечественных и зарубежных публикаций по теме исследования, показана актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи работы, ее научная новизна, отражена теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе диссертации представлена математическая модель многофазной фильтрации. Сформулирована краевая задача для давления, учитывающая сжимаемость фаз и различные условия закачки и отбора флюидов через зоны перфораций многих скважин. Предложен подход для расчета нового фазово-компонентного состава в расчетной области на основе известного поля давления. Автором предложена вычислительная схема для расчета температурного поля с учетом переноса тепла флюидами, основанная на использовании коэффициента, характеризующего скорость теплообмена между породой и смесью флюидов в коллекторе. Предложен способ оценки данного коэффициента.

Во второй главе рассматривается конечноэлементная аппроксимация краевой задачи для давления. Подробно описаны алгоритмы численного моделирования процессов фильтрации. Представлен алгоритм расчета изменения фазово-компонентного состава в результате химических реакций, фазовых переходов, процессов растворения газа в жидкости и дегазации, сжимаемости фаз. Описаны алгоритмы расчета давления с учетом изменения объемов фаз, образовавшихся в расчетной области за счет сжимаемости,

химических реакций и возможного выделения (или поглощения) одних фаз из других, а также алгоритмы расчета потоков фаз на основе вычисленного поля давления и обновления фазово-компонентного состава и температурного поля в расчетной области.

Третья глава посвящена разработанной подсистеме программного комплекса моделирования процессов неизотермической многофазной фильтрации. Описана общая архитектура программного комплекса, показан подход к использованию разработанной подсистемы для решения обратных задач гидродинамики (автоадаптация модели нефтяного месторождения и оптимизация нефтедобычи на основе гидродинамического моделирования). Представлена схема работы подсистемы моделирования процессов многофазной фильтрации, описаны входные и выходные данные, взаимодействие с другими подсистемами программного комплекса и графическим интерфейсом. Приведены результаты расчета для модели месторождения, характеризующегося высокой неоднородностью пористой среды и большим числом действующих скважин. Продемонстрированы возможности разработанной подсистемы по заданию и моделированию различных химических и тепловых воздействий на пластовую систему.

В четвертой главе представлены результаты верификации разработанного численного метода. Проведены сравнения с результатами расчетов, полученными с использованием зарубежного программного обеспечения (программного комплекса Tempest) и применяемого многими нефтедобывающими компаниями для моделирования процессов нефтедобычи. Верификация проводилась также на трех тестовых задачах из проекта SPE (Society of Petroleum Engineers) сравнением с результатами участников проекта, полученными с использованием различных программ гидродинамического моделирования.

В пятой главе приведены результаты апробации разработанного численного метода для решения обратных задач. Для полученной в результате автоадаптации по истории разработки цифровой модели реального месторождения высоковязкой нефти рассчитанные по ней характеристики нефтедобычи хорошо совпадают с практическими данными как в период адаптации, так и в последующий прогнозный период.

Для моделей реальных месторождений приведены результаты численного моделирования различных технологий разработки месторождений. Проведены исследования возможного увеличения нефтедобычи при разработке месторождений с использованием химических методов для высоковязкой нефти и тепловых методов для сверхвязкой нефти.

В заключении содержатся основные результаты работы.

Текст представленного автореферата в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы.

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы Овчинниковой А.С. подтверждается многосторонней верификацией разработанного

численного метода, в ходе которой решались различные модельные задачи. Полученные результаты сравнивались с известными аналитическими решениями для простых моделей, а также с результатами расчетов для сложных моделей коллекторов, полученных другими авторами в рамках сравнительного проекта SPE.

При расчетах контролировалось выполнение основных законов сохранения, что может служить дополнительным подтверждением корректности разработанного численного метода и программного обеспечения.

Предложенный численный метод был апробирован и на практических данных. Он использовался при решении обратной задачи для построения цифровой модели реального месторождения. Для подтверждения адекватности полученной модели адаптация проводилась только по части исторических данных (две трети от общего времени разработки), а характеристики нефтедобычи на оставшийся промежуток времени получены как прогнозные. Было показано, что практические и расчетные кривые достаточно хорошо совпадают, в том числе и в прогнозный период.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

При разработке математических моделей и алгоритмов численного моделирования многофазной фильтрации Овчинниковой А.С. предложен подход, в котором расчет давления выполняется путем решения нелинейного уравнения, полученного из условия баланса объема фильтрующейся смеси, а насыщенности фаз пересчитываются их переносом между ячейками сетки с использованием потоков, полученных из рассчитанного поля давления. Наиболее существенная нелинейность уравнения для давления определяется зависимостью его правой части от искомого решения, характеризующейся дефицитом или профицитом объема смеси, возникающего за счет изменяющихся свойств фаз и протекающих в смеси различных физико-химических процессов: сжимаемости фаз и матрицы-породы, поглощения газа жидкостью или дегазации, протекающих в смеси химических реакций. В связи с этим в диссертации предложены оригинальные модификации математической модели, позволяющие минимизировать вычислительные затраты при решении нелинейного уравнения для давления путем линеаризации вкладов в дефицит или профицит объема смеси от различных протекающих в ней физико-химических процессов. Также оригинальными являются предложенные методы пересчета насыщенностей фаз, которые, с одной стороны, позволяют эффективно учитывать все протекающие в смеси физические и химические процессы, а с другой стороны, обеспечивают выполнение законов сохранения компонент фаз фильтрующейся смеси.

То же самое можно сказать и о предложенных в диссертации методах моделирования термодинамических процессов, учитывающих перенос тепла движущимся флюидом, теплообмен между флюидом и матрицей-породой и вместе с тем обеспечивающих выполнение закона сохранения тепловой энергии.

Отдельно можно отметить, что разработанные методы моделирования позволяют учитывать зависимости свойств фаз от давления и температуры, задаваемые в любой форме, как аналитически, так и таблично.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные методы реализованы в программном комплексе и могут применяться для построения цифровых моделей месторождений, для анализа эффективности существующих технологий разработки и дальнейшей оптимизации нефтедобычи.

ПОЛНОТА ОПУБЛИКОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, РЕЗУЛЬТАТОВ, ВЫВОДОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Основные положения, результаты и выводы достаточно полно раскрыты в 17 научных работах, из которых 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 10 статей в международных системах цитирования Scopus и/или Web of Science, в том числе 1 статья квартиля Q1 (Scopus и Web of Science). Получено 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Основные положения диссертации были представлены на российских и международных конференциях различного уровня. Получен акт об использовании результатов научных исследований, подтверждающий, что программный комплекс с разработанной программной подсистемой, реализующей численный метод моделирования неизотермической многофазной фильтрации, использовался для моделирования, автоматической автоадаптации и оптимизации месторождений Республики Татарстан.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Не ясно, применимы ли предложенный подход и основанная на нем программная подсистема для моделирования процессов разработки месторождений с наклонными и горизонтальными скважинами, количество которых неуклонно возрастает?

2. В диссертационной работе приведены результаты решения практических задач только для нефтяных месторождений. Готов ли программный комплекс к решению практических задач для нефтегазовых месторождений?

3. Известно, что существует связь между фильтрационными и электрическими свойствами геологической среды. Предусмотрено ли при формировании гидродинамической модели использование электрических свойств среды, полученных по данным электромагнитного каротажа?

4. Для полноты восприятия хорошо было бы кратко описать алгоритм инверсии (оптимизации), который является основным инструментом построения цифровой модели реального месторождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. Замечания по диссертационной работе не снижают научную и практическую значимость полученных результатов.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности и отвечает требованиям «Положения о присуждения ученых степеней», предъявляемым к

кандидатским диссертациям, а соискатель Овчинникова Анастасия Сергеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории многомасштабной геофизики
Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука Сибирского отделения
Российской академии наук

Никитенко Марина Николаевна

Адрес места работы: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 3


Рабочий телефон: +73833309602

e-mail: NikitenkoMN@ipgg.sbras.ru

«26» августа 2022г.

Никитенко М.Н

Подпись Никитенко М.Н. заверяю:

Поступил в совет
29.08.22


С отзывом ознакомлена
30.08.2022 