

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН «Институт
вычислительной математики и
математической геофизики Сибирского
отделения Российской академии наук»
(ИВМиМГ СО РАН), профессор РАН,
-математических наук

Марченко М.А.

06.07.2022

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт
вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения
Российской академии наук»

на диссертацию Грифа Александра Михайловича на тему: «Разработка методов создания
трехмерных геолого-гидродинамических моделей и постобработки многофазных потоков
при конечноэлементном моделировании процессов нефтедобычи», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 –
Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

1. Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Грифа А.М. посвящена проблеме создания
математического и программного обеспечения для построения трехмерных геолого-
гидродинамических моделей месторождений и постобработки многофазных потоков при
конечноэлементном моделировании процессов нефтедобычи.

Гидродинамическая модель месторождения строится, как правило, путем решения
обратной задачи. Адекватность и качество этой модели во многом зависит от способов ее
параметризации и качества построения стартовой модели месторождения. При
формализации геофизической структуры всегда есть довольно большая неопределённость
– данные о строении пласта могут быть получены, в основном, в местах бурения скважин,
а размеры современных месторождений могут достигать десятков и даже сотен
квадратных километров. В таком случае необходимы специальные методы создания и
параметризации моделей пласта по скважинным данным. Также для решения
практических задач нефтедобычи необходима разработка новых эффективных
вычислительных схем моделирования процессов фильтрации и создание
соответствующих программных реализаций. Поэтому проведенные в диссертационной
работе Грифа А.М. исследования актуальны и имеют практическую направленность.

2. Структура и содержание работы

Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (103
наименований), 2 приложений. Общий объем диссертации – 120 страниц.

Во введении приведен обзор современного состояния исследований и разработок
по решаемой проблеме, обоснована актуальность темы диссертационного исследования,
поставлены цели и задачи исследования, указаны основные научные результаты, их
новизна, теоретическая и практическая ценность.

В первой главе диссертационной работы приводится математический аппарат, используемый для постобработки численных многофазных потоков при конечноэлементном 3D моделировании процесса многофазной фильтрации. Автором предложен специальный метод балансировки потоков, заключающийся в вычислении корректирующих добавок к численным потокам смеси, которые обеспечивают баланс втекающих/вытекающих объемов смеси, а также близость сбалансированных потоков смеси к исходным численным. Данные добавки определяются в результате решения СЛАУ, полученной в результате минимизации специального функционала баланса объемов с регуляризацией. Приводится описание метода балансировки потоков при расчете на несогласованных конечноэлементных сетках.

Во второй главе представлен метод построения геолого-гидродинамической трехмерной модели месторождения по данным, полученным со скважин. Модель месторождения строится из набора пластов, каждый из которых характеризуется своей геометрией. Поверхности описываются бикубическими сплайнами, полученными в результате минимизации функционала с регуляризацией весовыми функциями специального вида. Неоднородности представляются в виде призм, имеющих основание в виде многоугольников. Их латеральные границы предлагается задавать на основе ячеек Вороного, которые строятся вокруг скважин и дополнительных точек.

В третьей главе представлены результаты вычислительных экспериментов. Приводятся результаты анализа качества трехмерных стартовых моделей нефтяных месторождений, созданных по данным со скважин. На модели одного из месторождений нефти Республики Татарстан продемонстрировано высокое качество создания стартовой модели, которая даже без автоадаптации обеспечивает неплохое совпадение расчетных и наблюдаемых данных нефтедобычи для ряда скважин, а предложенная параметризация модели позволяет в результате автоматической адаптации получить хорошее совпадения для всех скважин.

Проведена верификация метода балансировки численных потоков и анализ его вычислительной эффективности. Показано существенное сокращение вычислительных затрат за счет того, что применение метода балансировки позволяет на довольно грубых конечноэлементных сетках получать решение, сравнимое по точности с решением, получаемым без использования данного метода только на гораздо более подробных сетках.

Приводятся результаты анализа эффектов ориентации конечноэлементных сеток, в том числе на задаче реального месторождения. Показано, что при использовании предложенного метода балансировки не возникает сложностей, связанных с латеральной ориентацией сетки даже для высококонтрастных моделей.

Проведено сравнение эффективности метода балансировки с другой технологией постобработки потоков методом проецирования, предложенной в работах M.F. Wheeler и др. Показаны преимущества по точности предложенного метода балансировки.

В четвертой главе представлено описание разработанного программного комплекса моделирования процессов нефтедобычи. Представлена общая архитектура программного комплекса, а также структура подсистемы балансировки численных потоков. Приведено описание разработанного графического интерфейса пользователя для работы с комплексом и инструментария для загрузки практических данных, создания структурного каркаса и поверхностей пластов, автоматического построения трехмерных неоднородностей по свойствам пород и насыщенностям фаз, визуализации результатов моделирования в виде пространственно-временных распределений и данных нефтедобычи.

В заключении приводятся основные результаты работы, сделанные по ним выводы.

Представленные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях автора. Основные результаты диссертации были представлены на

международных и российских научно-практических конференциях. По материалам диссертационного исследования лично и в соавторстве опубликовано 19 работ, включая 3 научные публикации в журналах, входящих в перечень ВАК, 4 научные публикации, индексируемые в международных информационных аналитических системах научного цитирования Web of Science, 11 научных публикаций, индексируемых в международной информационной аналитической системе научного цитирования Scopus. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

3. Обоснованность и достоверность результатов, выводов и заключений

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждаются большим количеством выполненных вычислительных экспериментов и верификаций разработанных процедур.

Верификация постобработки конечноэлементных решений проводилась несколькими способами: сравнением с решением задачи без применения метода балансировки потоков, полученным на сетке с многократным дроблением; сравнением с результатами, полученными другими авторами, опубликованными в высокорейтинговых журналах; тестированием на серии задач SPE (Society of Petroleum Engineers); сравнением результатов моделирования с практическими данными со скважин нефтяных месторождений. Было показано, что применение метода балансировки многофазных потоков позволяет на грубых конечноэлементных сетках получать решение с необходимой точностью.

Верификация метода создания трехмерных геолого-гидродинамических моделей проводилась с использованием скважинных данных и данных нефтедобычи нефтяных месторождений Республики Татарстан. В результате построения моделей (включая процедуры создания пластов и их поверхностей, трехмерных неоднородностей и их параметризации и др.) было показано, что строение стартовой модели позволяет получить необходимое совпадение расчетных и наблюдаемых данных всего за несколько итераций автоадаптации.

4. Научная новизна

- 1) Предложен новый метод построения стартовой трехмерной геолого-гидродинамической модели месторождения по скважинным данным.
- 2) Предложен новый метод балансировки численных потоков при конечноэлементном моделировании процесса многофазной фильтрации, в том числе при использовании несогласованных сеток.
- 3) Разработаны новые алгоритмы формирования по скважинным данным трехмерных неоднородностей, позволяющие строить несогласованные конечноэлементные сетки с малым количеством узлов.
- 4) Предложен 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.

5. Практическая значимость работы

Полученные в диссертации результаты применялись для решения важных практических задач. Разработанный графический интерфейс и подсистемы программного комплекса моделирования многофазных течений в задачах нефтедобычи были использованы при создании моделей нефтяных месторождений Республики Татарстан. Эти программные средства дают возможность в автоматизированном режиме строить цифровые геолого-гидродинамические модели, позволяющие с высокой степенью адекватности описывать процессы нефтедобычи на реальных месторождениях.

6. Теоретическая значимость работы

Разработанные методы постобработки конечноэлементных решений и методы создания трехмерных геолого-гидродинамических моделей месторождений могут служить теоретической базой для создания новых вычислительно эффективных схем трехмерного моделирования процессов нефтедобычи.

7. Рекомендации по использованию результатов работы

Разработанный в диссертационной работе программный комплекс, реализующий методы моделирования многофазной фильтрации, может быть использован в научно-производственных организациях и нефтедобывающих компаниях при создании трехмерных моделей нефтяных месторождений и прогнозировании нефтедобычи.

8. Замечания по диссертации

1) В работе решаются задачи многофазной фильтрации, в том числе для трехмерных моделей реальных многопластовых месторождений, требующих больших вычислительных ресурсов для моделирования. При этом в работе не описываются схемы распараллеливания решения таких задач, хотя и упоминается об использовании нескольких вычислительных потоков.

2) Полезно было бы сделать более подробное сравнение описанного метода моделирования многофазных течений, использующего метод балансировки потоков, со смешанным методом конечных элементов для решения рассматриваемых в работе задач нефтедобычи.

9. Заключение

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 адаптацию 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 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа и отзыв на нее обсуждены и одобрены на объединенном семинаре ИВМиМГ СО РАН и кафедры вычислительной математики ММФ НГУ, протокол № 45 от 05.07.2022 г.


Отзыв подготовил главный научный сотрудник лаборатории Вычислительной физики ИВМиМГ СО РАН, д.ф.-м.н. по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ В.М. Свешников.

Г.н.с. д.ф.-м.н.

Подпись В.М. Свешникова
Ученый секретарь ИВМиМГ

В.М. Свешников

Л.В. Вшивкова

Поступила в совет
12.07.22


С отзывом ознакомлен
13.07.2022
