

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
*Грифа Александра Михайловича* «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»

### **Актуальность темы диссертации**

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью решения важной научно-практической проблемы – построению геолого-гидродинамической модели (ГГДМ) нефтяных месторождений. При этом на первый план выходят вопросы удобства и результативности адаптации геологической модели с надежностью и эффективностью вычислительных алгоритмов гидродинамической модели.

### **Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Решаемые задачи фильтрации сформулированы на основе фундаментальных уравнений механики сплошной среды. Решения соответствуют общим физическим представлениям о рассматриваемых процессах. Излагаемые методы постобработки численного решения логичны и их эффективность доказана на основе серии тестовых задач и сравнительных тестов.

Надежность методики построения стартовой ГГДМ и ее применимость для процесса адаптации модели подтверждаются многочисленными примерами ее практического применения.

Содержание диссертационной работы, ее основные сведения отражены в публикациях автора, обсуждены на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

### **Основные результаты и их новизна**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложен метод балансировки потоков при решении задач многофазной фильтрации методом конечных элементов, позволяющий решать проблему неконсервативности получаемого решения.
2. Предложен новый способ построения структурных поверхностей пластов, обеспечивающий их сглаживание в окрестности скважин для избегания нефизичных градиентов высот.
3. Разработан метод формирования внутренней структуры неоднородностей фильтрационно-емкостных свойств и фазово-компонентного состава пласта, определяющий параметризацию ГГДМ для ее последующей адаптации.

Автором разработаны подсистемы программного комплекса моделирования многофазных течений в процессе нефтедобычи, реализующие основные результаты исследования – методы создания ГГДМ нефтяных месторождений и методы обработки конечноэлементного решения данных задач.

## **Значимость основных результатов для науки и практики**

Исследования, представленные в работе, имеют как практическую, так и научную значимость.

Применение разработанного метода создания трехмерной ГГДМ месторождения с использованием неконформных конечноэлементных сеток с гибкой стыковкой элементов может повысить эффективность решения задач проектирования нефтедобычи, существенно сокращая избыточную размерность расчетных сеток без заметной потери точности.

Метод балансировки потоков способен принципиально повысить эффективность конечно-элементной схемы решения задач многофазной фильтрации, обеспечивая ее консервативность уже на достаточно грубых сетках.

Практическая значимость результатов подтверждается тем, что все предлагаемые методы, реализованные автором в форме подсистем общего программного комплекса, неоднократно применялись при построении ГГДМ реальных нефтяных месторождений Республики Татарстан.

## **Содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (103 наименований) и 2 приложений. Общий объем диссертации – 120 страниц, в том числе 63 рисунка и 11 таблиц.

Первая глава посвящена описанию математического аппарата для постобработки многофазных потоков. Представлена математическая модель многофазной фильтрации, метод и алгоритм балансировки численных потоков многофазной смеси. Вторая глава содержит общее описание метода создания трехмерной ГГДМ месторождения по скважинным данным, описывает способ параметризации модели в виде пластов и трехмерных неоднородностей и способы формирования их вертикальных и латеральных границ, а также отражает общий взгляд автора на подход к автоадаптации по историческим данным с использованием построенной стартовой модели. В третьей главе приведены результаты вычислительных экспериментов, направленных на апробацию метода балансировки численных потоков, представлены результаты применения разработанного программного комплекса для создания ГГДМ, а также результаты автоадаптации моделей по историческим данным. Четвертая глава диссертационной работы знакомит с разработанным программным комплексом: его общей архитектурой, структурой основных модулей, графическим пользовательским интерфейсом. В заключении приводятся основные результаты.

Диссертация представляет собой завершенное научное исследование, в котором получен ряд новых результатов. Представленные в работе результаты могут быть использованы при построении ГГДМ нефтяных месторождений.

## Замечания по диссертационной работе

1. Уровень изложения в диссертации алгоритмов параметризации геологической модели и их связи с повышением эффективности решения задачи автоадаптации является недостаточным для понимания и возможности воспроизведения представленных результатов. Понятно, что решение задачи автоадаптации не входит в содержание работы автора, однако суть результата следовало четко представить (например, в виде фрагмента математической постановки задачи автоадаптации с указанием на связь с излагаемой параметризацией модели) с соответствующими ссылками на цитируемые источники. Так

а) п. 2.1 о параметризации ГГДМ изложен в общих словах и не содержит какой-либо пригодной к реализации схемы или алгоритма;

б) п. 2.4 об автоадаптации и анализе неопределенностей содержит лишь общие выводы без каких-либо алгоритмов, постановок задач, показывающих в связи задачи автоадаптации с параметризацией модели;

в) п. 3.2 об анализе стартовой ГГДМ при автоадаптации не указывает, какие параметры были выбраны для адаптации модели, чем именно выбранный способ параметризации модели лучше известных аналогов;

г) в алгоритме на стр.32-33 не расшифрованы указания вида «строится неоднородность», «анализируется фазовый состав», не конкретизируется положения каких «точек» и из решения какой «обратной задачи» отыскиваются;

д) алгоритмы определения вертикальных границ «областей неоднородностей» и заполнения ячеек геологической модели значениями фильтрационно-емкостных свойств пласта математически строго не сформулированы.

2. Не указано, каким образом вычисляются по формуле (1.23) параметры регуляризации  $\alpha_i$ , выражающиеся через величины «небаланса»  $\delta_\Omega$ , которые в свою очередь содержат корректирующие добавки  $\delta V_{\Gamma_i}'$ , требующие для своего отыскания задания тех же коэффициентов  $\alpha_i$ . Листинг алгоритма 1 на стр. 22 и блок-схема на рис. 4.2 также не отвечают на данный вопрос, поскольку расчет величин  $\alpha_i$  в них указан до расчета значений  $\delta_\Omega$ .

3. Почему поправки с больших («big») граней на малые («small») грани переносятся пропорционально их площадям (стр. 24), а не потокам, что представляется более обоснованным и использовано при корректировке потоков через грани на скважинах (стр. 17)?

4. В п.3.6 вместо использования терминов «фиксация» и «не фиксация» потоков следовало записать, какие граничные условия ставятся на скважинах для однозначного понимания постановки решаемых задач.

Несмотря на указанные замечания, общее впечатление о работе является положительным, а количество представленных результатов подтверждает приобретение автором требуемой квалификации.

### Соответствие паспорту специальности

Содержание исследования соответствует трем пунктам паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: 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.

### Публикации, отражающие основное содержание работы, и апробация результатов

По теме диссертации автором опубликовано 14 печатных работ, из них 3 – в журналах, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией; 4 – в журналах, индексируемых в системах Web of Science и Scopus. Результаты исследований реализованы в виде программ для ЭВМ, по которым получено 4 свидетельства о регистрации. Основные результаты апробированы – они докладывались на конференциях различного уровня.

### Заключение

Диссертация Грифа А. М. обладает внутренним единством, является самостоятельным законченным научным исследованием и содержит решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний. Работа соответствует специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Полученные результаты качественно достоверны. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает всем требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Гриф Александр Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

### Официальный оппонент

доктор физико-математических наук

(01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»)

заведующий кафедрой аэрогидромеханики

Института математики и механики им. Н. И. Лобачевского

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,

доцент

Поташев Константин Андреевич

«23» августа 2022 г.

Почтовый адрес: 420008,

Тел.: (843) 233-77-31

E-mail: [KPotashev@mail.ru](mailto:KPotashev@mail.ru).

С отзывом ознакомлен  
30.08.2022

Поступила в совет  
30.08.22