

## УТВЕРЖДАЮ

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

Марченко М.А

03.08.2022

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

на диссертацию Патрушева Ильи Игоревича на тему: «Разработка методов оптимизации  
процессов нефтедобычи на основе трехмерного численного моделирования  
изотермической многофазной фильтрации», 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 Патрушева И.И. посвящена разработке методов построения оптимальных планов разработки нефтяных месторождений. Особенно важно принимать научно обоснованные решения по управлению нефтедобычей, когда месторождения входят в позднюю стадию разработки и необходимо использовать специальные методы увеличения нефтеотдачи пласта. Эффективность таких методов зависит от принятых планов разработки месторождений, которые могут быть получены на основе построенных цифровых моделей месторождений с использованием современных высокоточных методов математического моделирования процессов нефтедобычи. Такие подходы рассматриваются в работе Патрушева И.И., и этим определяется ее актуальность.

Методы и программное обеспечение, используемые для построения оптимальных планов разработки нефтяных месторождений, должны обладать достаточной вычислительной эффективностью, поэтому актуальной является и рассматриваемая в диссертационной работе проблема повышения эффективности гидродинамического моделирования многофазных течений в неоднородных пористых средах.

#### 2. Структура и содержание работы

Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (114 наименований) и 2 приложений. Общий объем диссертации – 152 страницы.

**Во введении** приведен достаточно полный обзор современного состояния решаемой проблемы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, указана новизна полученных научных результатов, их теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** диссертационной работы приводится математический аппарат, используемый для моделирования процессов изотермической фильтрации, основанный на



последовательном расчете давления с использованием метода конечных элементов, вычислении по полученному давлению потоков фаз и явном переносе фаз между ячейками конечноэлементной сетки. Для повышения вычислительной эффективности гидродинамического моделирования Патрушевым И.И. предложен подход к группированию конечных элементов, который позволяет рассчитывать новые компонентно-фазовые составы ячеек с разными шагами по времени, и соответствующая модификация схемы переноса фаз. Приводятся подходы к моделированию воздействия поверхностно-активных веществ на процессы течения флюидов в нефтяном коллекторе.

**Во второй главе** представлена математическая модель управления разработкой нефтяных месторождений. Приводится метод оптимизации работы скважин при различных способах заводнения с использованием параметризации режимов работы скважин, учитывающей изменение мощностей добычи/закачки, концентраций закачиваемых агентов и границ временных интервалов работы скважин. Для минимизации целевой функции используется метод Гаусса-Ньютона со специальной регуляризацией, необходимой для удерживания значений параметров в заданных ограничениях. Приводится пример использования разработанного метода для построения оптимальных планов разработки на модели месторождения с применением полимерного заводнения.

**В третьей главе** представлена разработанная подсистема программного комплекса моделирования и оптимизации разработки нефтяных месторождений. Описаны структура подсистемы оптимизации, используемые структуры данных и программные модули. Приводится описание разработанного графического интерфейса пользователя для оптимизации разработки месторождений и его инструментария в части автоматизированной параметризации оптимизируемого плана разработки, визуализации построенных в ходе оптимизации планов и полученных характеристик нефтедобычи.

**В четвертой главе** представлены результаты исследований эффективности алгоритма группирования и процедура переноса фаз на задаче проекта SPE (Общество инженеров нефтегазовой промышленности), а также при моделировании разработки реального месторождения высоковязкой нефти. Приводятся результаты разработанного метода построения оптимальных планов разработки с использованием синтетических данных для приближенной к реальной модели месторождения. Демонстрируются возможности предложенного метода автоматизированной оптимизации работы скважин при построении ретроспективных и перспективных планов разработки двух реальных месторождений высоковязкой нефти.

**В заключении** приводятся основные результаты работы и сделанные по ним выводы.

Представленные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях автора. Результаты диссертации были представлены на множестве международных и российских научно-практических конференций. Таким образом, апробация результатов исследований, представленных в диссертации, проведена в достаточной мере. По теме диссертации опубликовано 22 работы, из них 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК, 13 статей в изданиях, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и/или Scopus, из которых 3 статьи в журналах квартиля Q1. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **3. Обоснованность и достоверность результатов, выводов и заключений**



Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждаются вычислительными экспериментами, выполненными для тестовых задач и на моделях месторождений, полученных по практическим данным.

Верификация разработанного алгоритма группирования ячеек при решении задач многофазной фильтрации проводилась как сравнением результатов, получаемых при решении одних и тех же задач с группированием и без, так и на задаче из сравнительного проекта SPE путем сравнения с результатами, полученными в программных комплексах гидродинамического моделирования зарубежных компаний.

Для обоснования достоверности прогнозов нефтедобычи, полученных в результате синтеза оптимальной схемы управления разработкой, было проведено испытание разработанного метода на синтетических данных, полученных по модели месторождения, построенной по практическим данным. Результаты исследования показали, что применение предложенного метода построения оптимальных планов в соответствии с описанной методикой позволяет получить прогнозы нефтедобычи, отличающиеся от соответствующих результатов для истинной модели не более чем на 1% по показателю накопленной нефти.

#### **4. Научная новизна**

1. Предложен новый метод построения оптимизированных планов разработки нефтяных месторождений, основанный на специальной параметризации режимов работы скважин и минимизации регуляризованного функционала методом Гаусса-Ньютона и учитывающий технологические ограничения на значения забойного давления и мощности добычи/закачки.

2. Предложена методика определения параметров и выбора стратегии при оптимизации разработки нефтяных месторождений с использованием различных способов заводнения, включая применение химических методов увеличения нефтеотдачи пластов.

3. Предложен новый алгоритм группирования конечных элементов и переноса фаз, допускающий разные шаги по времени для пересчета состояния ячеек при численном моделировании процессов многофазной фильтрации.

4. Разработана подсистема программного комплекса для автоматизированной оптимизации процесса нефтедобычи при различных способах заводнения.

#### **5. Практическая значимость работы**

Предложенные в диссертации методы и разработанное на их основе программное обеспечение имеют практическое значение, поскольку они позволяют строить оптимальные планы управления нефтедобычей для повышения эффективности разработки нефтяных месторождений.

Разработанная Патрушевым И.И. подсистема программного комплекса, реализующая предложенные методы оптимизации процессов нефтедобычи, является инструментом, позволяющим увеличить эффективность работ по проектированию разработки месторождений. Эта подсистема предоставляет широкие возможности для построения оптимальных планов разработки месторождений с большим числом действующих скважин при использовании различных методов разработки нефтяных месторождений с использованием как традиционных технологий нефтедобычи с простым заводнением, так и методов увеличения нефтеотдачи пласта с полимерным или ПАВ-полимерным заводнением.



## **6. Теоретическая значимость работы**

Разработанные методы построения оптимальных планов разработки нефтяного месторождения могут служить теоретической базой для дальнейшего развития методов автоматической оптимизации процессов нефтедобычи с использованием полного гидродинамического моделирования.

Разработанные алгоритм группирования конечных элементов и модификация вычислительной схемы переноса фаз могут служить основой для дальнейшего совершенствования вычислительных схем моделирования процессов многофазной фильтрации.

## **7. Рекомендации по использованию результатов работы**

Полученные в диссертационной работе результаты представляют практический интерес для нефтедобывающих компаний, ведущих разработку месторождений на поздней стадии их жизни. Разработанные автором методы построения оптимальных планов и реализующее их ПО могут быть внедрены в различных научно-производственных организациях, занимающихся построением и использованием цифровых моделей нефтяных месторождений для построения прогнозов нефтедобычи и оптимизации разработки месторождений.

## **8. Замечания по диссертации**

1) Неясно, формулируется как краевая задача для вычисления функций чувствительности?

2) В работе упоминается распараллеливание только при вычислении функций чувствительности по узлам распределенной вычислительной сети, и ничего не говорится о возможности распараллеливания при моделировании самого процесса нефтедобычи. Есть ли такое распараллеливание, и если нет, то насколько это обоснованно. Возможна ли параллельная реализация защищаемого алгоритма группирования конечных элементов?

3) Недостаточно полно проведен анализ методов оптимизации распараллеливаемой области.

## **9. Заключение**

Диссертационная работа Патрушева И.И. «Разработка методов оптимизации процессов нефтедобычи на основе трехмерного численного моделирования изотермической многофазной фильтрации» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой предложены методы и подходы, реализующие решение актуальной научной и практической проблемы.

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 управления разработкой нефтяных месторождений, базирующаяся на специальной параметризации режимов работы скважин, использовании полного гидродинамического моделирования и



трехмерных цифровых моделей месторождений, полученных в результате автоадаптации по данным истории разработки

2) Численные методы:

-разработан алгоритм группирования и основанная на нем модификация переноса фаз, допускающие разные шаги по времени для пересчета состояния ячеек, что позволяет значительно сократить вычислительные затраты при моделировании многофазных потоков в пористых средах

3) Комплексы программ:

-разработана подсистема программного комплекса для построения оптимизированных планов разработки нефтяных месторождений с применением химических методов увеличения нефтеотдачи пласта.

Диссертационная работа Патрушева И.И. 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, Патрушев Илья Игоревич, 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 № 46 от 02.08.2022 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.

Отзыв утвердил

г.н.с. лаборатории вычислительной физики ИВМиМГ СО РАН,

д.ф.-м.н. по специальности

05.13.18 - Математическое моделирование,

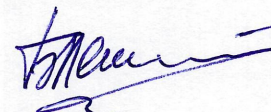
численные методы и комплексы программ

В.М. Свешников

Подпись В.М. Свешникова заве

Ученый секретарь ИВМиМГ С

Л.В. Вшивкова

Получил в совет  
12.08.22  


С отзывом ознакомлен  
15.08.22  
