

Отзыв

официального оппонента – доктора физико-математических наук А.И. Никифорова на диссертацию Овчинниковой Анастасии Сергеевны «Численное моделирование процессов неизотермической многофазной фильтрации в задачах нефтедобычи с учетом различного взаимодействия фаз и фазовых переходов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы данной работы обусловлена тем, что при разработке нефтегазовых месторождений важным фактором является математическое моделирование процессов нефтедобычи. В связи с переходом крупных месторождений в позднюю стадию разработки и увеличением доли трудно извлекаемых запасов используются различные методы увеличения нефтеотдачи пластов. Проработка различных технологий нефтедобычи и прогнозирование эффективности их применения возможны только на основе математических моделей, которые учитывают особенности этих технологий и адекватно отражают физические процессы, протекающие в коллекторе.

Научная новизна диссертации заключается в предложенных математической модели и методах и алгоритмах численного трехмерного моделирования процессов многофазной неизотермической фильтрации для решения задач нефтедобычи.

В диссертационной работе предложены новые подходы и вычислительные схемы, позволяющие моделировать переход компонент из одной фазы в другую (включая процессы поглощения газа жидкостью и дегазацию), химические реакции и фазовые переходы, сопровождающиеся выделением или поглощением тепла. Проведенные численные исследования показывают, что представленные методы моделирования позволяют изучать возможности применения различных технологий разработки месторождений. Разработанные алгоритмы моделирования взаимодействия фаз и предусмотренные возможности задания зависимостей свойств фаз от давления, температуры и массовых долей их компонент позволяют моделировать воздействия различных вытесняющих агентов и их композиций.

Новизной обладает предложенная в работе вычислительная схема для расчета теплового взаимодействия матрицы-породы и смеси флюидов в коллекторе, в которой учитывается скорость теплообмена между смесью флюидов и породой.

Поскольку решение практических задач нефтедобычи требует больших вычислительных затрат, связанных с решением обратных задач для построения цифровых моделей месторождений и дальнейшей оптимизации нефтедобычи, стоит отметить тот факт, что в работе уделено немало внимания снижению вычислительных затрат. Для этого разработаны специальные подходы к учету различного типа нелинейностей, которые позволяют ускорить сходимость итерационного процесса при решении нелинейного уравнения давления. Также предложены специальные краевые условия, позволяющие исключить итерационный процесс для получения корректного давления вдоль ствола скважины с учетом гидростатического напора жидкости.

Представленные в работе методы и алгоритмы реализованы в виде подсистемы программного комплекса, который предназначен для управления разработкой месторождений на основе математического моделирования процессов многофазной фильтрации и решения задач автоадаптации. Разработанные математическая модель и алгоритмы численного моделирования многофазной неизотермической фильтрации позволяют проводить исследование существующих методов увеличения нефтеотдачи и анализировать возможности новых подходов к разработке месторождений.

Обоснованность и достоверность результатов, полученных автором, подтверждается верификацией предложенного численного метода моделирования неизотермической многофазной фильтрации путем решения задач, имеющих аналитическое решение, а также сравнением результатов решений модельных задач с результатами, полученными с использованием достаточно известного комплекса Tempest. Предложенные в работе подходы к моделированию процессов поглощения газа жидкостью и дегазации, а также к решению тепловой задачи были верифицированы сравнением результатов численных расчетов тестовых задач из сравнительного проекта SPE с решениями других авторов.

В диссертационной работе приведены результаты применения разработанной математической модели и численного метода для решения задач автоадаптации моделей реальных месторождений высоковязкой нефти. Успешное применение разработанного метода для решения этих практических задач служит дополнительным обоснованием корректности разработанных математической модели и базирующегося на ней численного метода.

Практическая значимость полученных в работе результатов заключается в том, что разработанные математическая модель и алгоритмы численного моделирования многофазной фильтрации могут применяться для исследования и проектировании разработки нефтегазовых месторождений с использованием различных технологий нефтедобычи и уже использовались при обработке реальных данных месторождений ПАО «Татнефть». Акт внедрения подтверждает применение разработанных программ для анализа технологий нефтедобычи на месторождениях Республики Татарстан.

Диссертационная работа хорошо структурирована, изложена последовательно и логично. Объем диссертации – 152 страницы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (119 наименований) и двух приложений. **Автореферат** достаточно полно отражает основные идеи и выводы диссертационной работы.

Основные результаты диссертации **опубликованы в 17 работах**, из которых 4 в изданиях, рекомендованных ВАК, 10 в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus. Зарегистрировано 3 программы для ЭВМ, реализующие разработанные подходы и методы.

Замечания:

1. В работе отсутствует исходная математическая формулировка решаемой задачи. Автор диссертации сразу же выписывает уравнение для давления (1.1), которое должно быть

следствием законов сохранения массы и импульса (как оно получено, какие предположения положены в основу при его выводе?).

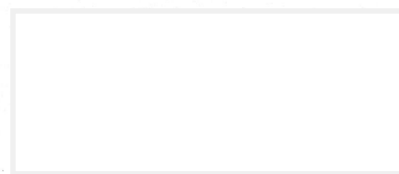
2. Для представленных в работе численных экспериментов приводятся вычислительные затраты и отмечается, что расчеты проводились с распараллеливанием на некоторое число потоков. Однако в работе не сказано, какие средства параллельного программирования используются, и не указано, для каких алгоритмов разработана параллельная реализация.

3. В работе отмечается, что для моделирования используются неконформные конечноэлементные сетки, которые позволяют существенно повысить вычислительную эффективность. Это важный результат, но в представленных в работе алгоритмах не приведено детальное описание обработки соответствующих конечных элементов.

Приведенные замечания не снижают ценности исследований диссертационной работы, не снижают общего положительного впечатления и носят уточняющий характер.

Заключение. Диссертация «Численное моделирование процессов неизотермической многофазной фильтрации в задачах нефтедобычи с учетом различного взаимодействия фаз и фазовых переходов» является завершенной научно-квалификационной работой, и имеет важное научно-практическое значение. Работа соответствует областям исследований по научной специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, полностью отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Овчинникова Анастасия Сергеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физико-математических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник, заведующий
Лабораторией математического моделирования
процессов фильтрации ИММ ФИЦ КазНЦ РАН



А.И. Никифоров

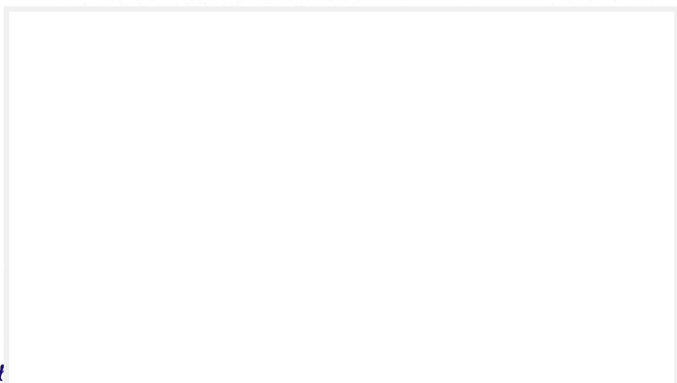
05.08.2022

Анатолий Иванович Никифоров

Ведущий научный сотрудник Института механики и машиностроения - обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, профессор, академик РАН;
420111, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31.

Телефон: +79050201833.

E-mail: ai_nikifor@yahoo.com



Поступила в совет
23.08.22

С отзывом ознакомлен

24.08.2022