

УТВЕРЖДАЮ
И.о. ректора
БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры
«Сургутский государственный университет»

И.Н. Даниленко

« 14 »

ноября 2018

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию

Рагимли Парвин Ильгар кызы

на тему «Математическое моделирование связанных процессов фильтрации в талой зоне и пьезопроводной среде с газогидратными включениями»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертационная работа посвящена математическому моделированию углеводородной флюидодинамики в коллекторах с газогидратными отложениями. В плане решения данной задачи было осуществлено (разработано) двухблочное разбиение исходной системы уравнений, а именно, произведено выделение блока гиперболических уравнений относительно водонасыщенности и растепленности на фоне фиксированных скоростей фильтрации, и блока, содержащего уравнение пьезопроводности, для определения давления в пласте с газогидратными включениями. Данное разбиение позволяет проводить сквозные расчеты для нескольких зон. Алгоритм решения исходной задачи на основе такого расщепления по физическим процессам был изучен теоретически, в численных экспериментах, и, в конечном итоге, позволил проводить расчеты трансфазных задач с достаточно крупным шагом по времени и редуцировать системы к матрицам меньшей размерности.

В качестве основных результатов, можно указать следующие.

1. Развита согласованная модель двухфазной фильтрации несмешивающихся флюидов при наличии в коллекторе газогидратных отложений.

2. Построено семейство двухслойных полностью консервативных разностных схем с профилированными по пространству временными весами для сквозного расчета флюидодинамических процессов в талой зоне и пьезопроводной среде.

3. Разработанная математическая модель и построенные на ее основе разностные схемы реализованы в виде робастных алгоритмов и современного программного комплекса, созданного на основе технологии клиент-сервер.

4. Выполнены вычислительные эксперименты на основе известных модельных постановок задач фильтрации. Показано, что результаты расчетов согласуются с известными данными по флюидодинамике в гидратосодержащей среде.

5. С помощью разработанного программного комплекса проведены исследования процессов, происходящих в газогидратных пластах, в частности, для газогидратного Мессояхского месторождения.

Актуальность темы исследования. Газогидраты относятся к метастабильным образованиям и существуют в природе в условиях, близких к границе их фазовой устойчивости. Незначительные изменения температуры и давления способны вызвать необратимый процесс их разложения, связанный с освобождением в окружающую среду огромного количества метана и воды. Это, в свою очередь, приводит к возникновению оползней и обвалов, а также к превращению прочно сцементированных газогидратосодержащих пород в разжиженную массу и освобождению огромного количества газа, делающего данный процесс необратимым. Вычислительные эксперименты с моделями природных и техногенных процессов, сопровождающихся формированием и разложением гидратов, востребованы и в теоретических исследованиях, и при сопровождении экспериментальных работ, в силу многопараметричности и нелинейности моделей динамики гидратосодержащих сред.

Содержание диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

Первая глава посвящена, в основном, литературному обзору по газогидратной тематике с момента ее зарождения и до настоящего времени. Приводятся основные сведения о газовых гидратах и справочные данные, которые используются при решении поставленных в работе задач.

Во второй главе рассматриваются физическая и математическая модели фильтрации флюидов в пористых средах при наличии газовых гидратов. Определяется исходная система уравнений, проводится ее расщепление на функциональные блоки для дальнейшего применения эффективных алгоритмов решения. Исследуются свойства уравнений, дается метод их решения.

В третьей главе описывается предложенная разностная схема для решения полной задачи в рамках двухблочной математической модели фильтрации флюидов в пористых средах с газогидратными включениями. Также, на метрических сетках теории метода опорных операторов построено семейство дискретных алгоритмов со свободно-объемной аппроксимацией уравнения пьезопроводности, расщепленных по физическим процессам. Важно, что полученная таким образом расщепленная модель разностно эквивалентна дискретным первым балансным принципам системы, записанным в дивергентной форме. Такой подход создания полностью

консервативных схем в изучаемой флюидо-гидратной среде потребовал введения специальной свободно-объемной нелинейной аппроксимации сеточных функций по времени, которая зависит от доли объема в порах, занятом флюидами, и является простой в реализации.

Четвертая глава содержит описание алгоритмов и структуры созданного на их основе кода, предназначенного для моделирования течений в пористой среде, содержащей соединения низкомолекулярных природных газов (метан и др.) с водой, существующие при определенных термобарических условиях в твердой фазе.

В пятой главе проводится компьютерное моделирование трансфазной задачи с помощью разработанного комплекса программ.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна. Результаты, представленные в работе, являются новыми. Впервые разработан численный метод решения трансфазных задач в рамках многофазной модели фильтрации с учетом диссоциации газовых гидратов, основанный на расщеплении по физическим процессам. Применительно к задачам фильтрационной флюидодинамики с газогидратными включениями, в частности, с разрывными свойствами пласта и сложной разномасштабной структурой коллекторной зоны, впервые разработан новый класс операторно-согласованных разностных схем решения начально-краевых задач для уравнений параболического типа на пространственных неструктурированных сетках общего вида. В пространственно-одномерном случае осуществлена программная реализация разработанного метода в виде робастного программного комплекса.

Практически и теоретическая значимость работы. В практическом отношении созданные программные средства обеспечивают возможность пространственно-одномерного моделирования полной задачи диссоциации газовых гидратов в подземных пористых средах. Также разработанное программное обеспечение может быть использовано при исследовании и прогнозировании процессов намерзания и растаивания гидратов в газопроводах и добывающих скважинах.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации. Все положения и выводы диссертации достоверны и научно обоснованы. Обоснованность результатов подтверждена апробацией на международных научных конференциях, а также публикациями результатов исследования в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Достоверность полученных результатов основывается на использовании строгого математического аппарата – классических законах подземной гидромеханики, термодинамики и теории фильтрации, обеспечивается верификацией разностных схем в численных экспериментах на модельных задачах и близостью к результатам других исследований.

Основные публикации. Материалы диссертации опубликованы в 8 печатных работах, 5 из которых входят в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных

результатов диссертаций, 3 работы входит в международные базы данных и системы цитирования Scopus, Web of Science.

Замечания. 1) В работе рассматривается решение задач с помощью двух схем: полностью неявная по давлению и насыщенностям и предложенная автором полностью консервативная разностная схема. Интересно было бы видеть сравнение по быстродействию и эффективности данных схем, а также сравнение с решением аналогичных задач по уже известному методу с использованием алгоритма прогонки, без разбиения по физическим процессам. 2) Практически на данный момент автором предоставлена возможность проводить пространственно-одномерные расчеты трансфазных задач, но разработанная разностная схема рассчитана на двух- и трехмерное моделирование. Хотелось бы иметь представление, насколько сложно разработать двух- и трехмерный код на основе реализованного одномерного.

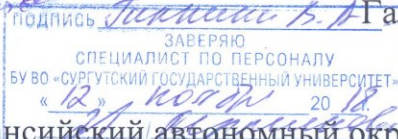
Заключение о диссертации. Данная диссертация представляет собой целостное научное исследование на актуальную тему, в котором получен ряд новых результатов по математическому моделированию. Результаты, полученные в диссертации Рагимли Парвин Ильгар кызы, являются результатами высокого научного уровня и представляют собой научную ценность.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

На основе вышеизложенного считаем, что диссертационная работа Рагимли Парвин Ильгар кызы «Математическое моделирование связанных процессов фильтрации в талой зоне и пьезопроводной среде с газогидратными включениями» удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор заслуживает присуждения указанной степени.

Отзыв на диссертацию Рагимли П.И. обсужден и одобрен на заседании кафедры прикладной математики Политехнического института БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет». Отзыв на диссертацию Рагимли П.И. составлен доктором физико-математических наук, профессором Галкиным Валерием Алексеевичем.

Д.ф.-м.н., профессор
Подпись заверяю



Подпись *Галкин В.А.* Галкин В.А.

Проспект Ленина, 1, г. Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ - Югра (Тюменская область), 628412, Российская Федерация

тел. (3462) 76 29 00, факс(3462) 76 29 29

e-mail: rector@surgu.ru

Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа - Югры «Сургутский государственный университет»