

ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертацию докторанта PhD
Актюбинского регионального университета имени К. Жубанова
Мусиной Аллы Александровны на тему
«Разработка математических и численных моделей теории фильтрации с
учетом массообменных процессов», представленную на соискание степени
доктора философии (PhD) по специальности 8D05401-Математика

Многие задачи фильтрации, включая фильтрацию многофазной несжимаемой жидкости, описываются с помощью математических моделей. Эти модели позволяют формализовать процессы перемещения жидкости через пористую среду и предсказывать их поведение в различных условиях. Использование математических моделей позволяет проводить анализ и оптимизацию процессов фильтрации, а также предсказывать их результаты при различных параметрах. Такой подход является важным инструментом, как в исследованиях, так и в практическом применении.

Классические математические модели Маскета-Левретта и Баклея-Левретта предполагают прямую зависимость фазовой проницаемости от насыщенности и давления. Однако эти модели применимы только в случае однородных пластов, что не соответствует реальным условиям нефтяных месторождений, часто представляющих собой неоднородные и пористые структуры. Поэтому классические модели являются упрощенным представлением и не учитывают неравновесные эффекты, которые имеют место на практике. При разработке моделей, не учитывающих сложные условия и неоднородности в пористых средах, возникают серьезные проблемы с достоверностью при описании процессов фильтрации в нефтяных пластах. Нефти Западного Казахстана обладают высокой вязкостью, что приводит к явлениям сорбции и десорбции при использовании метода закачки поверхностно-активных веществ. Эти явления указывают на значительные неравновесные процессы в системе. В связи с этим возникает необходимость усовершенствования классических математических моделей фильтрации с учетом массообменных процессов.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что на сегодняшний день отсутствует единый подход к разработке математической модели, который мог бы помочь связать многокомпонентные углеводородные системы при различных температурных условиях и разности фазовых давлений. Особенно это касается моделирования фазового поведения пластовых флюидов в условиях неравновесной фильтрации.

Диссертационное исследование посвящено разработке математических и численных моделей теории фильтрации с учетом массообменных процессов, то есть с учетом переноса массы между различными фазами, в результате различных физических явлений, таких как диффузия, конвекция и перенос массы через границы фаз. При этом учитываются неравновесные эффекты, такие как адсорбция и десорбция, то есть процессы, при которых молекулы

одной фазы поглощаются или высвобождаются из поверхности другой фазы. Эти процессы могут происходить под влиянием различных факторов, таких как температура, давление и химические свойства поверхности.

В диссертационной работе доказаны теоремы существования, единственности и устойчивости решения задачи неравновесной изотермической фильтрации; показан предельный переход в задаче неравновесной фильтрации к задаче равновесной фильтрации с помощью параметра релаксации; показано, что для задачи неравновесной фильтрации предельной задачей является задача Стефана; разработаны вычислительные алгоритмы в автомоделных переменных для решения задачи неравновесной фильтрации.

При рассмотрении предельного перехода в задаче неравновесной фильтрации к задаче равновесной фильтрации с использованием параметра релаксации, была рассмотрена ситуация, в которой происходит медленное изменение важных параметров в системе. Этот переход позволил связать неравновесные и равновесные условия и перейти к предельной задаче, которая описывается задачей Стефана.

Для выполнения предельного перехода к задаче равновесной фильтрации с использованием параметра релаксации, был введен дополнительный параметр, который описывал скорость изменения важных параметров. Данный параметр релаксации определил, насколько быстро система будет приходить к равновесному состоянию. При этом было определено, что предельной задачей стала задача Стефана.

Таким образом, предельный переход с использованием параметра релаксации позволил учесть влияние неравновесных процессов и перейти к предельной задаче, которая описывается уравнениями Стефана и описывает равновесное состояние системы. Далее задача была численно исследована в автомоделных переменных.

Особенностью диссертации является то, что докторантом были введены в модель параметры, учитывающие массообменные процессы, то есть функция адсорбции, время релаксации химической реакции, которые могут приводить к изменениям концентраций и состава фаз.

В данной работе изучены основные теоретические аспекты исследования математической модели фазовых переходов при изотермической и неизотермической фильтрации, а также приближенных методов, применяемых при решении задач теории фильтрации с учетом массообменных процессов.

Здесь под массообменными процессами понимается изменение агрегатного состояния рассматриваемого объекта. Основное внимание уделено приведению задач неравновесной фильтрации к задачам равновесной фильтрации со свободными границами, такими как задачи типа Стефана.

Диссертационное исследование разбито на два раздела.

Во введении дан обзор литературы по теме диссертации, кратко изложено содержание работы, цель, объект, предмет и задачи исследования, сформулированы результаты, выносимые на защиту.

Первый раздел работы содержит четыре подраздела. В первом подразделе осящается состояние вопроса совместного движения жидкостей в поровом пространстве с учетом неравновесных эффектов. Приведены понятия и формулы, которые являются основой для понимания процессов совместного движения жидкостей в поровом пространстве с учетом неравновесных эффектов и играют важную роль в развитии моделей и методов анализа транспорта в пористых средах.

Во втором подразделе исследуется математическая модель изотермической неравновесной фильтрации и разрешимость математической модели фазовых переходов в условиях неравновесной фильтрации. Рассматривается корректность математической модели, качественные свойства решения, асимптотическое поведение решения.

В целом, автором проведена объемная работа по установлению условий, достаточных для однозначной разрешимости математической модели фазовых переходов при изотермической фильтрации, Качественные свойства решения задачи фазовых переходов при неизотермической фильтрации, асимптотическое поведение по времени решения задачи типа Стефана, численное исследование задачи неравновесной неизотермической фильтрации.

Следует отметить, что относительно задач изотермической фильтрации с учетом массообменных процессов (водонасыщенность, концентрация ПАВ и давление) были использованы основные законы механики сплошной среды и кинетические соотношения. Автору удалось привести к задаче типа Стефана. Такой подход обусловлен тем, что для дальнейшего исследования удается решить исходную задачу по трем областям автономно.

Кроме того, в задачах неизотермической фильтрации автором работы исследована усложненные варианты задач типа Стефана и Веригина. Полученные результаты апробированы в рейтинговых журналах. Сложность изучения таких задач: свободная (неизвестная) граница меняется из – за градиента и давления меняются соответственно. Известно, что такие задачи не допускают аналитического метода решения и только можно построить обобщенные решения. Автору удалось исходную систему нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных привести с помощью автомодельных переменных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений и с реальными технологическими параметрами построить эффективные и экономичные вычислительные алгоритмы. Такой оправдан тем, что по квантованию времени удобно численно реализовать на ЭВМ. Полученные результаты были использованы в блоке математических моделей цифровой технологии ИСАР (информационная система анализа разработки нефтегазовых месторождений Республики Казахстан). В ходе выполнения работ по численной реализации были использованы геолого – промысловые данные реального нефтегазового месторождения западного региона Республики Казахстан.

В ходе выполнения работ автору необходимо было изучить многие материалы по современной теории нелинейных дифференциальных уравнений

в частных производных.

Результаты диссертации сформулированы в виде теорем. Они доказаны и обоснованы.

Научные результаты, полученные на основании исследования, представляют значительный вклад в развитие теории неізотермической фильтрации с учетом массообменных процессов.

Также следует отметить, что результаты данного исследования по вопросам общей теории является новым дополнением к основам прикладных исследований в математике.

Исследование задачи является перспективным направлением для развития теории неравновесной фильтрации. Результаты исследования имеют, как теоретическое, так и практическое значение и могут быть использованы при решении научных задач, где исследуются качественные свойства изотермической и неізотермической задачи для многомерного случая.

Представленный алгоритм решения применен при решении задачи прогнозирования добычи нефти на месторождениях западного региона Республики Казахстан. Результаты послужили базовыми элементами в «Информационной системе анализа разработки нефтегазовых месторождений», акт внедрения которой был оформлен в 2023 году в ТОО «Норс Каспиан Ойл».

Достоверность и обоснованность подтверждена публикациями диссертантки в индексируемых международных журналах из базы Scopus и Web of Science, а также публикациями основных результатов деятельности в журналах, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

На основе вышеизложенных выводов считаю, что диссертационная работа А.А. Мусиной «Разработка математических и численных моделей теории фильтрации с учетом массообменных процессов» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D05401 –Математика, является законченной работой и может быть представлена к защите.

Отечественный научный консультант
доктор физико-математических наук,
профессор Атырауского университета
имени Х.Досмухамедова

С.Т. Мухамбетжанов

Мухамбетжанов С.Т.

<i>С. Мухамбетжанов</i>
_____ қолын
(қолдарын) растаймын
Персоналды басқару және дамыту бөлімінің
бастығы _____
« № I _____ 2025 ж. »

