

ОТЗЫВ

зарубежного 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 8D 05401-Математика

Диссертационная работа посвящена разработке математических и численных моделей теории фильтрации. Неравновесная фильтрация описывает перемещение жидкости через пористую среду с учетом неравновесных эффектов, таких как капиллярные силы, диффузия, химические реакции и изменение свойств флюидов во времени и пространстве.

В теории фильтрации в последнее время огромными темпами развивается физико-химическая подземная гидродинамика. На данный момент актуальны исследования движения многофазных систем в пористой среде, где методы физики, химии и гидродинамики совместно решают важные практические задачи. Поэтому привлечение математического аппарата для решения таких задач является вполне обоснованным, так как разработка математических и численных моделей способствует оптимизации процессов добычи нефти из месторождений, где основная добыча уже приближается к завершению.

Перед докторантом была поставлена задача исследования зависимости свободной границы от скорости распространения неоднородного раствора и внешних параметров, таких как температура, давление и концентрация реагентов.

Докторантом на основе анализа трудов в области подземной гидромеханики Полубариновой-Кочиной П.Я. «Теория движения грунтовых вод», Коновалова А.Н. «Задачи фильтрации многофазной несжимаемой жидкости», Мейрманова А.М. «Задача Стефана», Баренблатта Г. И., «Фильтрация двух несмешивающихся жидкостей в однородной пористой среде», а также с учетом результатов, полученных Монаховым В.Н., Бочаровым О.Б., Мухамбетжановым С.Т. по разрешимости задач неизотермической фильтрации, было проведено исследование положения свободной границы и ее поведение при неограниченном возрастании времени проведения химической реакции в условиях неравновесной фильтрации.

Основное содержание диссертации изложено в двух разделах. Первый раздел посвящен исследованию состояния вопроса совместного движения жидкостей в поровом пространстве с учетом неравновесных эффектов. Пористая среда в каждом случае вносит свои особенности, так или иначе связанные с малостью размера пор, нерегулярностью и неоднородностью порового пространства и огромной поверхностью контакта жидкости со скелетом.

Здесь приведен анализ, который является основой для понимания процессов совместного движения жидкостей в поровом пространстве с учетом неравновесных эффектов. В этом разделе исследуется разрешимость математической модели фазовых переходов в условиях неравновесной фильтрации, доказывается корректность математической модели, качественные свойства решения и асимптотическое поведение решения.

Второй раздел посвящен численному исследованию. Разработан вычислительный алгоритм решения задач со свободными границами. Он позволяет решать задачи с произвольным и переменным числом фаз, как теплопроводности, так и диффузии. Алгоритм решения основан на применении метода конечных элементов, а также проведено численное исследование в автомодельных переменных.

Заметим, что в данном разделе затрагивается проблема, которая изучалась еще Коноваловым А.Н., определение специфических особенностей задач фильтрации, делающих невозможными применение стандартных численных методов, которые хорошо зарекомендовали себя для других классов задач. Выделить особенности, которые связаны с существом исходных физических задач, а также выделить какие особенности привносятся выбором математической модели – одна из проблем при построении математической модели. Анализ докторантом всей технологической цепочки послужил основой при разработке математической модели. Исследования в данной области выявили значительную зависимость между скоростью распространения неоднородных растворов и изменением свободной границы. Эта зависимость может быть оказана воздействием внешних параметров, таких как температура и давление. Также концентрации реагентов могут влиять на поведение свободной границы в пористой среде.

Следует отметить, что результаты этого раздела существенны в смысле перспективности для распространения на более общие случаи и другие смежные задачи.

В целом, диссертационное исследование достаточно содержательное, получены эффективные численные алгоритмы задачи неравновесной фильтрации со свободными границами.

Работа, представленная автором, представляет собой значимый вклад в область математического моделирования процессов нефтяной промышленности. Автор представил глубокий анализ различных аспектов теории фильтрации, а также их применение в контексте разработки нефтяных месторождений. Результаты исследования позволяют решить проблемы адаптации математических моделей и оценки изменения технологических показателей, которые являются необходимыми атрибутами. Представленный алгоритм решения применен при решении задачи прогнозирования добычи нефти на месторождениях западного региона Республики Казахстан. Результаты расчетов доказали эффективность численных алгоритмов, и послужили базовыми элементами в блоке программ «Цифровая технология по разработке нефтегазовых месторождений ИСАР-2», акт внедрения

которой был оформлен в 2023 г. в ТОО «Норс Каспиан Ойл» «Информационная система анализа разработки нефтегазовых месторождений» (руководитель проекта - Мухамбетжанов С.Т., Байжасарова К.К., Мусина А.А. – обработка данных, Ахмед-Заки Д.Ж., Воробьев А.Е. – прогнозные расчеты, Иманкулов Т.С., Кенжебек Е., Абдияхметова З.М. – уточнение модели).

Важно отметить, что автор учитывает широкий спектр параметров, включая проницаемость породы, давление, температуру и физико-химические свойства нефти и воды. Такой комплексный подход позволяет создать более реалистичные математические модели, отражающие сложные процессы, происходящие в нефтяных месторождениях.

Кроме того, автор продемонстрировал глубокое понимание особенностей геометрии и структуры нефтяных месторождений, что является ключевым аспектом успешного моделирования. Это позволяет учесть неоднородности и анизотропию пластов, что существенно влияет на процессы фильтрации и выбор оптимальных стратегий добычи.

Обобщая исследования в этой области, представляется более глубокое понимание взаимосвязи между свободной границей, скоростью распространения неоднородных растворов и внешними параметрами.

Считаю, что диссертация Мусиной Аллы Александровны на тему «Разработка математических и численных моделей теории фильтрации с учетом массообменных процессов» соответствует 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.

Зарубежный научный консультант,
проректор по международным отношениям и инновациям
Ферганского медицинского института общественного здоровья РУз,
профессор Грозненского нефтяного технического университета РФ,
доктор технических наук,
профессор,

Воробьев А.Е.

