

Вх. № 29/22
от 23.05.22

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Русинова Алексея Александровича
на диссертационную работу Бельских Дениса Сергеевича
**«Процесс теплового воздействия на гидратонасыщенную залежь с
учетом разложения газового гидрата»**, представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность темы диссертационной работы

По результатам различных исследований количество природного газа в виде газовых гидратов оценивается на порядки выше того количества, что сейчас содержится в виде газовых и газоконденсатных месторождений. В настоящее время, природный газ, и содержащиеся в нем углеводороды, остаются одним из главных источников энергии для человечества.

Повышение температуры пород в зоне «вечной мерзлоты», где было обнаружено большое количество запасов газовых гидратов, может привести к разложению этих газовых гидратов и высвобождению природного газа, хранящегося в них. Появление в этой зоне воронок в земле часто связывают именно с большими объемами высвобождающегося из его гидратов природного газа, который прорывается сквозь земную породу. Такой выброс газа может существенно усугубить ситуацию с потеплением климата из-за наличия парникового эффекта у выделяющегося газа.

Как результат, использование корректной физико-математической модели, ее реализации с использованием современных численных методов, а также результаты вычислительного эксперимента для выявления особенностей исследуемого процесса позволят вывести дополнительные выводы, получить нужную информацию, что и говорит об актуальности проблемы.

Цели и задачи исследования

Автором была поставлена цель в выявлении особенностей процесса неизотермического фильтрационного течения, возникающего при разложении газовых гидратов в пористой среде при термическом воздействии. При этом были решены следующие задачи:

1. С учетом дополнительных факторов предложена развитая физико-математическая модель описания процесса неизотермической фильтрации газа и воды с учетом возможности фазовых переходов.

2. Построен алгоритм решения используемой модели, в котором расчет изменения насыщенностей фаз производится с учетом условия фазового равновесия для газового гидрата.
3. После построения алгоритма решения были проведены исследования влияния некоторых параметров рассматриваемой системы на процесс разложения газового гидрата и распределение искомых величин.
4. Описаны особенности термогидродинамических процессов происходящих в случае теплового воздействия на гидратосодержащий пористый пласт.

Научная новизна и практическая значимость работы

Автором работы была развита математическая модель, ранее используемая в работах Шагапова В.Ш., Мусакаева Н.Г., Хасанова М.К. и др. В отличие от имеющихся работ этих авторов были дополнительно учтены и другие факторы. Прежде всего, работе рассматривается случай реального газа, учитывается возможность фильтрации воды, а также наличие неизотермических эффектов фильтрации, такие как эффект Джоуля-Томсона и адиабатического охлаждения. Модель рассматривается не только в одномерном, но и впервые в двумерном приближении.

После реализации модели в виде программного продукта и проведения вычислительных экспериментов были установлены некоторые особенности разложения газового гидрата метана в пласте. Разложение гидрата метана производится двумя видами теплового воздействия: закачкой теплого газа в гидратосодержащий пласт и при нагреве границы пористой среды. Оба случая позволяют увеличить температуру в пласте, тем самым и начать процесс разложения газового гидрата.

Результаты, полученные в работе, дополняют некоторые имеющиеся фундаментальные знания о процессе теплового воздействия на гидратосодержащий пористый пласт, а наличие дополнительных членов в уравнениях используемой модели позволяет получить более точные результаты. При этом построенный алгоритм решения позволяет решать задачи с наличием как протяженных, так и фронтальных областей фазовых переходов.

Научная значимость результатов работы не подлежит сомнению и позволяет лучше понять процесс разложения газовых гидратов в случае теплового воздействия и с учетом большего количества факторов. Результаты, полученные с помощью вычислительных экспериментов, позволяют оценить то, как различные исходные параметры системы и

параметры теплового воздействия влияют на процесс разложения газовых гидратов. Это позволяет уменьшить количество необходимых данных из экспериментов или промысловых исследований, а в дальнейшем более подробно рассмотреть случаи добычи газов из их гидратов и исследования экологических проблем, связанных с ними.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации – 95 страниц, имеется 20 рисунков и 1 приложение.

В первой главе приведен обзор исследований зарубежных и отечественных авторов, связанных с процессом фильтрационного течения при наличии разложения или образования газовых гидратов. Проанализированы свойства газовых гидратов и условия их стабильного существования в природе. Рассмотрены основные способы добычи газа из природных залежей гидратов природного газа, при которых происходит изменение термодинамических условий, при которых газовые гидраты не могут существовать. В результате рассмотрения основных способов добычи газа из гидратонасыщенных залежей было отмечено, что внешнее тепловое воздействие способствует разложению газовых гидратов и может быть использовано в комбинации с другими способами добычи газа из его гидрата. При исследовании имеющихся на данный момент математических моделей были обнаружены два основных подхода для построения модели: равновесный подход для расчета параметров и кинетический подход. В модели данной диссертации используется только равновесный подход. В заключении было отмечено, что в модели автора рассматривается случай реального газа, наличие неизотермических эффектов, двумерный случай, и используется только равновесный подход.

Во второй главе приведены вывод и развитие физико-математической модели для неизотермической фильтрации газа и воды с учетом разложения имеющихся в пористом пласте газовых гидратов. Далее уравнения модели были преобразованы к нужному виду для проведения вычислительных экспериментов в двух случаях теплового воздействия: закачки нагретого газа в пласт и при нагреве верхней границы замкнутого пласта.

В третьей главе автор приводит алгоритм решения для приведенной ранее модели рассматриваемого процесса. С помощью разностной схемы уравнения приведены к дискретному виду и преобразованы для расчета методом прогонки, а для замыкания системы уравнений приведен метод

расчета значений гидратонасыщенности, учитывающие условия фазового равновесия для газового гидрата. Оценочные изменения насыщенности гидрата в пористой среде рассчитываются при текущем значении температуры и давления, а также значений температуры и давления фазового равновесия на каждом шаге по времени. Явным преимуществом данного подхода является отсутствие необходимости в задании дополнительных условий на фронте разложения газового гидрата.

В четвертой главе оценены результаты численных экспериментов для двух задач теплового воздействия: закачки нагретого газа в гидратосодержащую пористую среду и при нагреве ее верхней границы.

В работе была проверена сходимость с полученными ранее автомодельными решениями в диссертационной работе Хасанова М.К., где рассматривается случай идеального газа и при отсутствии влияния неизотермических эффектов. В случае наличия этих эффектов и реального газа разница между искомыми значениями параметров достигала 8%.

Отмечено наличие только фронтального режима разложения газового гидрата при любом виде теплового воздействия. Стоит отметить, что в случае закачки нагретого газа, увеличение его массового расхода не будет приводить к увеличению зоны, заполненной только продуктами разложения газового гидрата, а, наоборот, к уменьшению этой зоны. Также эта зона увеличивается при повышении температуры закачиваемого газа, при меньших значениях гидратонасыщенности, больших значениях проницаемости пласта.

Замечания по диссертационной работе:

1. Несмотря на качественный обзор работ по рассматриваемой тематике, приведенный в главе 1, практически отсутствует какое-либо сравнение с результатами других авторов, как экспериментальными, так и теоретическими (приводятся лишь некоторые качественные сравнения). По крайней мере, хотелось бы видеть обоснование, чем представленные в диссертации модели лучше моделей других авторов, и какой существенно новый научный результат с их помощью удалось получить.
2. При численной реализации физико-математической модели в диссертационной работе для расчета гидратонасыщенности используется оригинальный метод. Что под этим понимается?
3. В диссертационной работе уравнения, описывающие модели, записаны в пространственно-временных координатах. Однако, при тестировании полученного алгоритма, сравнение результатов расчета с

результатами, полученными в работе [18] производится в автомоделной координате, хотя в работе про нее ничего не сказано.

4. Почему теплофизические характеристики скелета пористой среды являются постоянными по мере разложения газовых гидратов?

Автореферат правильно отражает содержание диссертации, а основные результаты работы достаточно полно опубликованы в научной печати. Материалы диссертации характеризуют автора как сложившегося исследователя, владеющего современными научными методами.

Заключение

Диссертационная работа Бельских Дениса Сергеевича «Процесс теплового воздействия на гидратонасыщенную залежь с учетом разложения газового гидрата» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Результаты, полученные автором в диссертационном исследовании, имеют значимую научную новизну и высокоую практическую ценность. Работа соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842.

Считаю, что Бельских Денис Сергеевич, автор вышеуказанной диссертации, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент - доцент кафедры высшей математики и физики Бирского филиала ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», кандидат физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Русинов Алексей Александрович

«17» 05 2022 г.

Адрес: 452450, Башкортостан, г. Бирск, ул. Интернациональная, 10.

Тел. +7 (34784) 4-04-55.

E-mail: irtysh2009@mail.ru

Подпись А.А. Русинова заверяю:



А.А. Русинов начальник отдела
Дж. И. Душманов