ОБЗОР РАБОТ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

Плетнева А.Л., студентка,

Русинов А.А., к.ф-м.н., доцент,

Хузина Ф.Р., к.ф-м.н., доцент,

Бирский филиал УУНиТ, г. Бирск, Россия

Аннотация: В данной работе представлен актуальный обзор исследований по математическому моделированию гидратообразования.

Ключевые слова: Исследования, газовые гидраты, гидратообразование, математическая модель.

Анализ и систематизация основных вопросов, посвященных изучению основных свойств газогидратов, миграции газовых пузырьков в воде в условиях гидратообразования, кинетики образования газогидратных частиц позволили сформулировать задачи исследования, решение которых будет способствовать достижению поставленной цели:

1. Моделирование процесса всплытия газогидратных частиц в открытой воде.

2. Анализ влияния различных механизмов на интенсивность образования газогидратов.

Многогранная проблема разложения и образования газового гидрата при различных условиях изучается учеными в России и за рубежом [1]. Для этого разрабатываются и реализуются математические модели, которые учитывают результаты лабораторных экспериментов и исследований в естественных условиях. Подробное описание взаимодействий между фазами при формировании и диссоциации гидратных структур сложно, поэтому часто используются упрощенные схемы для получения решаемых уравнений. Несмотря на большое количество работ по этой теме, проблема гидратов до сих пор не изучена полностью. Также отсутствуют работы, посвященные конкретным технологическим аспектам добычи, транспортировки и хранения гидратных систем. Газовые гидраты представляют собой твердые соединения газов (например, метана) с водой. Они стабильны при низких температурах и высоких давлениях, но при изменении условий легко распадаются. Их сходство с льдом привело к названию "горящий лед". Гидраты встречаются в природе или в зонах мерзлоты, создавая трудности для их разработки. Существуют различные структуры газовых гидратов, наиболее

распространены гидраты первого типа. Они могут быть природными или техногенными, и в зависимости от этого могут служить как проблемой, так и возможностью для различных технологических процессов. Гидраты могут иметь большие запасы углеводородов, превышающие традиционные ископаемые виды топлива.

В последнее время проведено много исследований морского дна, которые обнаружили источники газа на дне океана. Газовые пузырьки могут возникать как естественным образом (из-за подводных вулканов, осадочных разломов), так и из-за технических причин (аварии на подводных трубопроводах, буровых установках) [1].

Взрывы метановых пузырьков были обнаружены на глубине 900-1000 м в Черном море. В Сорокинской впадине в Охотском море было зарегистрировано выбросы метановых пузырьков из грязевых вулканов на глубине более 1500 м. В других частях мира также обнаружены подобные выбросы газа из морских бассейнов.

Газовый метан играет важную роль при образовании газовых гидратов. Он происходит из глубоких слоев и образует газогидраты на стабильной глубине. В результате исследований было обнаружено много газовых гидратов в Охотском море [2,3].

Эксперименты показали, что гидратные пузыри метана могут подниматься на поверхность океана без разрушения на глубине до 800 м и доставлять метан в атмосферу за короткое время. Установлено, что в зоне стабильности гидрата пузырьки метана медленнее растворяются, образуя гидратную оболочку.

Исследования на озере Байкал показали, что пузыри метана на разных глубинах проявляют разное поведение. В глубине около 400 м пузыри объединяются в один без гидратообразования. На глубине 860 м пузыри покрываются гидратной оболочкой и рушатся на фрагменты. На глубине 1400 м пузыри покрываются гидратной оболочкой, но не объединяются в один пузырь, а формируют устойчивую гидратную пену.

Теория, описывающая динамику газовых пузырей при образовании гидрата, была развита в статье Gumerov N.A. etal.

Для образования газовых гидратов необходимо наличие гидратообразующих веществ (газов), достаточное количество воды, а также подходящие термобарические условия. В различных исследованиях обнаружено, что растворение поднявшихся на поверхность пузырьков происходит на горизонтах, где их размеры достигают резонансных значений. Расположение этих зон зависит от размеров пузырьков и коэффициентов диффузии газов. Математическое моделирование гидрофизического процесса позволяет объяснить закономерности его формирования и предсказать некоторые последствия. В одной из работ была представлена модель движения нефти и газа при выбросах из глубоководных источников и сравнена с экспериментальными данными. В другом исследовании было установлено, что процесс формирования гидрата на поверхности пузырька состоит из трех этапов. Были также выделены факторы, влияющие на

зарождение и рост гидрата на поверхности пузырьков, такие как переохлаждение, давление, температура, состав и состояние газа. Другие работы рассматривали различные аспекты формирования гидратов, включая скорость образования и влияние роста давления. В исследовании в Охотском море было установлено, что гидратообразование происходит в результате диффузии растворенного газа в воде. В математической модели всплытия газогидратной частицы рассматривались два предельных механизма, влияющих на интенсивность гидратообразования. Результаты исследования позволяют оценить коэффициент диффузии воды через гидратную корку.

В настоящее время газовые гидраты углеводородных газов, особенно метана представляют большой теоретический и прикладной интерес. Это связано с тем, что они, с одной стороны, являются альтернативными источниками энергии, а с другой стороны, при их разложении можно получить достаточно большие объемы пресной воды и газа. Поэтому их изучению посвящено множество теоретических и экспериментальных работ. Существование гидратов доказано как на морских глубинах, так и в залежах Земли.

2. Исследования, проводимые на дне Мирового океана, выявили достаточно большое количество источников свободного выхода газа. Появление газовых пузырьков в водах океана может быть следствием как природного характера (подводные грязевые вулканы, разломы осадочных пород), так и техногенного (аварии на подводных трубопроводах, буровых установках). Известно, что метан является парниковым газом. Миграция таких пузырьков сопровождается в водной колонне сменой различных стадий (экспериментальные данные показали, что в естественных условиях миграция пузырьков может сопровождаться образованием гидрата на их поверхности и последующим разложением по мере всплытия), и, приближаясь к поверхности океана, они попадают в атмосферу. Поэтому возникает необходимость в создании технологий по предотвращению подобных выбросов.

3. Проводимые эксперименты по кинетике образования гидрата показали, что в одних случаях наблюдается быстрый рост гидратной оболочки на поверхности пузырьков, в других – достаточно медленный темп. Все это объясняется тем, что скорость образования гидратной корки зависит от различных факторов: начальных условий всплытия пузырьков, качества и состояния воды, «чистоты» гидратообразующего газа, наличия примесных частиц, солей и капилярных добавок в воде, а также воздействия ударными волнами на газо-жидкостные среды.

Таким образом, построение математических моделей процесса гидратообразования играет важную роль для прогнозирования и получения результатов.

Литература

1. Камаева Р.Р., Русинов А.А. Миграция газовых пузырьков в восходящем потоке, сопровождаемые образованием гидратной оболочки на их поверхности // В сборнике: Акустика среды обитания. Материалы VIII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. Москва, 2023. С. 138-146.

2. Чиглинцева А.С., Русинов А.А. Образование гидратного слоя на границе контакта газ-вода (лед) // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 6. С. 2439-2448.

3. Шепелькевич О.А., Чиглинцева А.С., Русинов А.А. Математическое моделирование процесса гидратообразования в снежном массиве при нагнетании холодного газа // в книге: актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики - 2017. международная молодежная научная конференция. 2018. С. 91-94.