



УДК 550

ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ: ПРИРОДА ВОЗНИКНОВЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ И МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ГАЗОГИДРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

GAS HYDRATES: NATURE OF EMERGENCE, PROSPECT AND METHODS OF DEVELOPMENT OF GASEOUS-HYDRATE FIELDS

Кирпичёв Виктор Евгеньевич
мастер СПкЗБС,
АО «Самарское УПНПИКРС»
rabota.ban@mail.ru

Kirpichyov Victor Evgenyevich
master SPKZBS,
JSC Samarskoye UPNPIKRS
rabota.ban@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена природе возникновения газовых гидратов, методах и перспективах разработки газогидратных месторождений.

Annotation. This article is devoted the nature of emergence of gas hydrates, methods and the prospects of development of gaseous-hydrate fields.

Ключевые слова: газовые гидраты, клатраты, неконвенциональные углеводороды, ингибиторы, зона свободного газа, газоконденсатное месторождение, воронка газового выброса.

Keywords: gas hydrates, clathrates, not conventional hydrocarbons, inhibitors, zone of free gas, gas-condensate field, funnel of gas emission.

Одной из основных проблем современной энергетики является неизбежное сокращение в средне- и долгосрочной перспективе запасов основных традиционных ее источников получения (в первую очередь нефти и газа).

Поэтому и приходится разрабатывать труднодоступные залежи нефти и газа в суровых природно-климатических условиях, на больших глубинах и, кроме того, обращаться к неконвенциональным углеводородам (нефтяные пески и горючие сланцы). Все это, значительно увеличивая стоимость получаемой энергии, так и не решает окончательно существующую проблему.

В связи с имеющейся ограниченностью и невозполнимостью традиционных ресурсов природного (горючего) газа, а также с растущим в XXI в. спросом на этот энергоноситель, человечество вынуждено обратить внимание на его значительные ресурсы, заключенные в нетрадиционных источниках, и прежде всего природных газовых гидратах.

Газовые гидраты – кристаллические соединения газов и воды переменного состава. Выглядят как снег или лед и имеют сходные с ними физические свойства. Образуются они при контакте газа и воды в определённых термобарических условиях, причём чем холоднее климат, тем чаще встречаются такие условия. В наиболее распространённом в земной коре гидрате метана соотношение между газом и водой примерно 1 к 6. При этом удельное газосодержание гидрата метана достигает 164 куб. м газа на 1 куб. м гидрата. По общему мнению нефтегазовых геологов, природные газовые гидраты содержат основной объём природного газа в литосфере.

Считается, что гидраты метана образуются, когда природный газ, образованный в глубинах земли, просачивается по геологическим разломам и выходит наружу на дне океанов или в областях вечной мерзлоты. При контакте с водой при низкой температуре и высоком давлении образуются кристаллические клатраты.

Впервые гидраты газов (сернистого газа и хлора) наблюдали ещё в конце XVIII века Дж. Пристли, Б. Пелетье и В. Карстен. Первые описания газовых гидратов были приведены Г. Дэви в 1810 году (гидрат хлора). В 1823 г. Фарадей приблизительно определил состав гидрата хлора, в 1829 г. Левит обнаружил гидрат брома, а в 1840 г. Вёлер получит гидрат H_2S . К 1888 году П. Виллар получает гидраты CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 и N_2O .

Клатратная природа газовых гидратов подтверждена в 1950-е гг. после рентгеноструктурных исследований Штакельберга и Мюллера, работ Полинга, Клауссена.

В 1940-е годы советские учёные высказывают гипотезу о наличии залежей газовых гидратов в зоне вечной мерзлоты (Стрижов, Мохнаткин, Черский). В 1960-е годы они же обнаруживают первые месторождения газовых гидратов на севере СССР. Одновременно с этим возможность образования и существования гидратов в природных условиях находит лабораторное подтверждение (Макогон).

В 1969 г. началась разработка Мессояхского месторождения в Сибири, где, как считается, впервые удалось (по чистой случайности) извлечь природный газ непосредственно из гидратов. Согласно оценке, сделано до начала добычи, запасы мессояхского месторождения были равны 79 млн куб. м газа, из которых одна треть содержалась в гидратах, перекрывающих зону свободного газа (ЗСГ) залежи.

Добыча газа из ЗСГ началась в 1969 г. В течении первых двух лет эксплуатации месторождения давление снижалось в соответствии со сделанным прогнозом. Позже, в 1971 г., было зарегистриро-



вано более высокое давление, чем ожидалось, и больший объем добычи. Это расхождение было отнесено за счет добыча газа из СПГ, так как снижение давления в ЗСГ сопровождалось снижением давления в зоне газовых гидратов (ЗГГ) и выделением газа вследствие их разложения. Количество газа добытого из ЗГГ на Мессояхском месторождении, оценивалось в 5 млрд куб. м или 36 % от общего количества.

Установлено, что около 98 % залежей газогидратов являются аквамаринными и сосредоточены на шельфе и континентальном склоне Мирового океана (у побережий Северной, Центральной и Южной Америки, Северной Азии, Норвегии, Японии и Африки, а также в Каспийском и Черном морях), на глубинах воды более 200–700 м, и только всего 2 % – в приполярных частях материков (рис. 2). Сегодня установлено свыше 220 залежей газогидратов.

По прогнозным оценкам российских ученых Г.Д. Гинзбурга и В.А. Соловьева, общее количество метана в аквальных залежах газогидратов оценивается в $2 \times 10^{10} \text{ м}^3$, т.е. его объемы на порядки превышают запасы углеводородов в традиционных месторождениях.

Самые крупные из (залежей) месторождений газогидратов России

А) Глубоководные залежи:

1. Шельф Сахалина, Охотское море. В районе восточного побережья острова – в глубинных разломах — сосредоточены самые большие разведанные запасы газогидратов – более 50 месторождений.

2. Курильская гряда, Охотское море. Здесь были проведены первые в СССР поиски гидратосодержащих отложений. К настоящему времени ресурсы газогидратов в этом районе Охотского моря оцениваются в 87 трлн м^3 . Глубина залегания – 3500 м.

Б) Шельфовые залежи:

1. На дне Черного моря есть около 15 месторождений газогидратов. Прогнозируемый объем – 20–25 трлн м^3 . Более точный расчет выполнен для двух наиболее перспективных участков – Центрального и Восточного (рис. 4), площадь которых составляет, соответственно, 60,6 и 48,5 тыс. км^2 .

2. Озеро Байкал (Россия). О существовании газовых гидратов на дне Байкала на основе косвенных данных было известно еще с 1990-х годов. В 2001 г. во время реализации международного проекта «Байкал-бурение» газовые гидраты были впервые обнаружены в поверхностном слое донных отложений, а в прошлом году были найдены крупнейшие газогидратные поля в районе подводного грязевого вулкана Санкт-Петербург.

Г) Арктические залежи:

Газогидратные месторождения в России распространены на северо-западе ее европейской части, а также в Сибири и на Дальнем Востоке – на площади 2,4 млн км^2 . Зоны гидратообразования в морях, омывающих территорию России, распространены на площади 3–3,5 млн км^2 .

При оценке ресурсов метана в гидратосодержащих осадках Охотского моря площадь протяженности гидратосодержащей зоны оценивается в 100 тыс. км^2 , а ее мощность – в среднем в 200 м. Согласно формуле Д. Лаберга, запасы метана (при коэффициенте содержания 0,1) составляют более $2 \times 10^{12} \text{ м}^3$.

Технология добычи метана из газогидратов

Добыча метана из газогидратов затруднено вследствие их твердой формы. Существующие методы опираются на разделение газогидратов на газ и воду. В настоящий момент существует три основных метода разработки залежей газогидратов:

1. Разгерметизация (снижение давления):

Наиболее перспективная сегодня технология. Её суть состоит в искусственном понижении давления в пласте вокруг скважины, которое достигается за счет понижения давления в буровой скважине или за счет сокращения давления на газогидраты воды или свободного газа после их частичной откачки (пример Мессояхское месторождение). Когда давление в слое газа ниже, чем фазовое равновесие газогидрата, газогидрат начинает распадаться на газ и воду, поглощая при этом тепловую энергию окружающей среды.

Технология наиболее эффективна при расположении газогидрата вблизи пласта свободного газа. При снижении объема свободного газа происходит постоянное изменение равновесия между гидратом и газом, в результате чего газогидрат продолжает выделять газ, который наполняет нижележащую полость. Разгерметизация применяется для разработки газогидратов, залегающих в породах высокой проницаемости на глубине более 700 м. Преимуществом такой технологии является сравнительно невысокая стоимость и простота процесса. Недостатком технологии может быть закупорка оборудования водой высвобождающейся входе разгерметизации, которая может замерзнуть.



2. Нагревание:

Газовый гидрат может быть подвергнут нагреву непосредственно газом (предпочтительно паром) или жидкостью. Наиболее часто используемый теплоноситель – вода. Эффективность технологии повышается при подведении нагретой воды в замкнутом цикле по специальным трубам. Подобный метод был применен на канадском месторождении Маллик в 2002 году. В ходе 5-ти дневного эксперимента в скважину глубиной 1100 м закачивалась вода температурой 80 °С. При достижении забоя скважины температура воды составила 50 °С. В результате эксперимента было добыто 470 куб. м метана. Нагревание пласта с использованием электричества когда электроды вводятся в верхнюю и нижнюю части пласта и через пласт пропускается переменный ток. Данный способ предполагает высокие затраты энергии и не может быть экономически целесообразным.

3. Введение ингибитора:

Введение ингибитора рассматривается как способ нарушения фазового равновесия газогидрата и повышение его температуры. В качестве ингибиторов могут выступать органические (например, этанол, метанол, гликоль) или соляные (например, соленая вода).

Ввиду отсутствия большого наработанного опыта разработки газогидратов известно о единичных случаях применения той или иной технологии. В пользу разгерметизации говорит более высокая эффективность технологии: при проведении пробной добычи метана на месторождении Маллик по технологии разгерметизации за 5,5 дней было добыто 13000 куб. м газ, что существенно превышает показатели добычи на этом же месторождении по технологии нагревания – 470 куб. м газа за 5 дней.

В 2012 году компания ConocoPhillips провела успешные испытания новой технологии добычи метана. Компания использовала углекислый газ, чтобы уменьшить давление в скважине и высвободить метан. В результате закачки CO₂ в пробуренную скважину был получен устойчивый приток природного газа в течении 30 дней подряд. Данная технология может рассматриваться как сочетание технологий разгерметизации и введения ингибитора, но она наименее отработана из всех представленных.

В настоящее время совершенно не изученными остаются электромагнитные, акустические, ультразвуковые и виброволновые методы воздействия на газогидраты.

Проблемы и риски, связанные с природными газогидратами

Освоение месторождений севера Западной Сибири с самого начала столкнулось с проблемой выбросов газа из неглубоких интервалов криолитозоны. Эти выбросы происходили внезапно и приводили к остановке работ на скважинах и даже к пожарам. Так как выбросы происходили из интервала глубин выше зоны стабильности газогидратов, то длительное время они объяснялись перетоками газа из более глубоких продуктивных горизонтов по проницаемым зонам и соседним скважинам с некачественным креплением. В конце 80-х годов на основе экспериментального моделирования и лабораторных исследований мерзлого керна из криолитозоны Ямбургского газо-конденсатного месторождения (ГКМ) удалось выявить распространение рассеянных реликтовых (законсервировавшихся) гидратов в четвертичных отложениях. Эти гидраты совместно с локальными скоплениями микробиального газа могут сформировать газоносные пропластки, откуда происходят выбросы при бурении. Присутствие реликтовых гидратов в неглубоких слоях криолитозоны было в дальнейшем подтверждено аналогичными исследованиями на севере Канады и в районе Бованенковского ГКМ. Таким образом, сформировались представления о новом типе газовых залежей – внутримерзлотных метастабильных газ-газогидратных залежах, которые, как показали испытания мерзлотных скважин на Бованенковском ГКМ, представляют собой не только осложняющий фактор, но и определённую ресурсную базу для местного газоснабжения.

Еще одна проблема, возникающая при разработке метана, связана с возможным вредом, который такая разработка может представлять для окружающей среды. Когда залежи располагаются на крутых склонах в непосредственной близости от морского дна, то они служат цементирующим компонентом осадочных пород. Широкомасштабная разработка месторождений может вызвать подводные оползни и, как следствие, разрушительные приливные волны – цунами. Например, разложением газогидратов объясняют действие подводных грязевых вулканов в Каспийском море и у берегов Панамы.

Есть мнение, что так называемое глобальное потепление, при котором температура мирового океана постоянно повышается, может вызвать распад газовых гидратов, это приведет к выбросу огромных количеств метана в атмосферу. Что, в свою очередь, приведет к дальнейшему ускоренному потеплению и распаду новых залежей. Может начаться лавинообразный процесс ускоренного глобального потепления. Это приведет к глобальным климатическим изменениям за время меньше времени человеческой жизни, и может закончиться частичным или даже полным вымиранием человечества (теория метангидратного ружья). Примеры такого глобального вымирания видов, возможной причиной которых были газовые гидраты, известны палеонтологии. Самым ярким из таких примеров является массовое пермское вымирание, произошедшее 251 миллион лет назад и приведшее к вы-



миранию 96 % видов земных организмов. Исследования, проведенные в арктических областях Сибири, показывают, что там уже происходит выброс миллионов тонн метана, а концентрации в некоторых регионах достигают значений, в сто раз превышающих норму. Примером тому может служить ямальская воронка или «воронка газового выброса», появившаяся в тундре осенью 2013 года. Это новый, ранее не наблюдавшийся процесс, который можно рассматривать как реакцию криолитозоны на изменение теплового состояния, приводящего к процессу высвобождения заключенного в верхних горизонтах мерзлоты газа, возможно, в форме реликтовых газогидратов.

В целом природные газовые гидраты составляют весьма сложную многоаспектную проблему. Исследования в этой области необходимо координировать в мировом масштабе, что позволит исключить дублирование работ и потерю времени. Необходима организация единого международного координационного центра по исследованию газогидратов и созданию эффективных технологий их освоения.

Литература:

1. Гинсбург Г.Д., Новожилов А.А. О гидратах в недрах Мессояхского месторождения // Газовая промышленность. – 1997. – № 2.
2. Агалаков С.Е. Газовые гидраты в Туронских отложениях на севере Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 1997. – № 3. – URL : <http://ross-nauka.narod.ru/02/02-075.html>; http://en.wikipedia.org/wiki/Methane_clathrate; <http://tmnsc.ru/gazovye-gidraty-2013-toplivo-buduschego>
3. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Российский химический журнал. – 2003. – № 3.
4. Прогноз развития энергетики мира и России на период до 2040 года / ИНЭИ-РАН – Аналитический центр при правительстве РФ, 2013.
5. Софийский И.Ю., Пухлий В.А., Мирошниченко С.Т. Газовые гидраты и энергосберегающие технологии // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – 2011. – Выпуск 1.
6. Гриценко А.И., Истомин В.А. Сбор и промысловая переработка газов на северных месторождениях России. – М. : Недра, 1999.
7. Тимоти С. Коллет, Рик Льюис, Такаши Учида. Растущий интерес к газовым гидратам // журнал Нефтегазовое обозрение.
8. BP Statistical Review of World Energy 2013.
9. World Energy Outlook 2013, IEA.
10. Соловьев В.А. Газогидратоносность недр Мирового Океана // Газовая промышленность. – 2001. – № 12.
11. Агалаков С.Е. Газовые гидраты в Туронских отложениях на севере Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 1997. – № 3.
12. Добров Олег. Разработка месторождений газогидратов : Нефтегазовый форум. – 2011.

References:

1. Ginsburg G.D., Novozhilov A.A. About hydrates in a subsoil of the Messoyakhsky field // the Gas industry. – 1997. – № 2.
2. Agalakov S.E. Gas hydrates in the Turonian deposits in the north of Western Siberia // Geology of oil and gas. – 1997. – № 3. – URL : http://ross-nauka.narod.ru/02/02_075.html; http://en.wikipedia.org/wiki/Methane_clathrate; <http://tmnsc.ru/gazovye-gidraty-2013-toplivo-buduschego>
3. Makogon Yu.F. Natural gas hydrates: distribution, education models, resources // Russian chemical magazine. – 2003. – № 3.
4. The forecast of development of power of the world and Russia until 2040 of year / INEI-RAN – the Russian Government Analytical Centre, 2013.
5. Sofia I.Yu., Pukhly V.A., Miroshnichenko S.T. Gas hydrates and energy saving technologies // Collection of scientific works SNUYaiP. – 2011. – Release 1.
6. Gritsenko A.I., Istomin V.A. Collecting and trade processing of gases on northern fields Russia. – M. : Nedra, 1999.
7. Timothy S. Kollet, Rick Lewis, Takashi Uchida. The growing interest in gas hydrates // the magazine the Oil and gas review.
8. BP Statistical Review of World Energy 2013.
9. World Energy Outlook 2013, IEA.
10. Solov'ev V.A. Gazogidratonosnost's nightingales of a subsoil of the World Ocean // Gas industry. – 2001. – № 12.
11. Agalakov S.E. Gas hydrates in the Turonian deposits in the north of Western Siberia // Geology of oil and gas. – 1997. – № 3.
12. Dobrov Oleg. Development of fields of gas hydrates : Oil and gas forum. – 2011.