

УДК 553.981.02.04(26)

## **СПОСОБ ДОБЫЧИ ГАЗА ИЗ ГЛУБОКОВОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗОГИДРАТОВ**

**Жуков А.В., Звонарев М.И., Жукова Ю.А.**

*Дальневосточный федеральный университет,  
Школа Экономики и Менеджмента,  
Кафедра экономики и организации производства, Владивосток, Россия  
(690091, Владивосток, ул. Пушкинская, 10), e-mail: yul25juk@mail.ru*

**В статье описана перспективная технологическая схема добычи метана, свободно фонтанирующего с морского дна. Задачи, на решение которых направлены заявленные изобретения, выражаются в обеспечении эффективности отработки газогидратных залежей как источников газовых фонтанов, особенно при распределении газовых фонтанов на ограниченных по площади участках. Технический результат, получаемый при решении поставленных задач, выражается в упрощении конструкции оборудования, обеспечивающего реализацию способов добычи природного газа в открытом море, кроме того, упрощается организация работы для судна-сборщика по отбору газа. Исследования проводились в 2007 и 2008 гг. двумя организациями: Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО РАН и Дальневосточным техническим университетом (ДВГТУ) по теме: «Условия формирования и разрушения газогидратов в Охотском море, их моделирование и технико-экономическое обоснование извлечения метана из газогидратов».**

Ключевые слова: газогидраты, прогноз, минеральные ресурсы, способ; добыча газа; месторождения.

## **GAS MINING METHOD FROM DEEP WATER DEPOSITS OF GAS HYDRATES**

**Anatoly V. Zhukov, Mikhail I. Zvonarev, Yulia A. Zhukova**

*Far-Eastern Federal University, School of Economics and Management,  
Department of Economics and Industrial Engineering Vladivostok, Russia  
(690091, Vladivostok, Pushkinskaya str., 10), e-mail: [yul25juk@mail.ru](mailto:yul25juk@mail.ru)*

**The perspective technical plan for extraction of methane, flowing freely from sea bottom is presented here. Solving of task according to supposed invention is expressed in providing of efficiency for gas hydrates deposit exploitation as sources of gas flows, especially, under distribution of gas flows at sites, limited on area. The technical result, obtained in task solving, is expressed in simplification of equipment construction, providing the realization, besides that, a work organization for ship-collector on gas extraction is simplified. The researches were conducted in 2007 and 2008 by two organizations: The Pacific Oceanological Institute of FEB RAS and Far-Eastern State Technical University (FESTU) on the theme: «The conditions for formation and destruction of gas hydrates in the Sea of Okhotsk, their modeling and techno-economic justification of methane extraction from gas hydrates».**

Key words: gas hydrates; forecast; mineral resources; method; gas exploitation; deposits.

## Введение

В соответствии с календарным планом выполнения работ ДВГТУ (ныне Дальневосточный федеральный университет) было поручено выполнение следующих этапов научно-исследовательских работ (НИР):

- выбор и обоснование принятого направления исследований по патентозащищенным методам поисков и добычи газогидратов;
- разработка функциональных схем технологических процессов разрушения газогидратов в термобарических процессах, близких к неравновесным в приповерхностных горизонтах осадочного чехла;
- разработка функциональных схем технологических процессов разрушения стабильных газогидратов;
- разработка функциональных схем и устройств извлечения метана из неустойчивых газогидратных залежей;
- сопоставление ожидаемой эффективности использования результатов НИР с предлагаемыми методиками других организаций.

Авторы доклада принимали участие в выполнении НИР в качестве ответственных исполнителей и ведущих специалистов.

## МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ГАЗОГИДРАТОВ, СПОСОБЫ ДОБЫЧИ ГАЗА ИЗ ГЛУБОКОВОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Открытие газовых гидратов (ГГ) как химических соединений относится к началу XIX века. В первой половине XX века было установлено, что ГГ являются причиной пробкообразования в газопроводах, расположенных в арктических районах (при температуре выше 0 °С). После промышленного освоения газовых залежей началась интенсивная разработка методов предотвращения гидратообразования в системах добычи и транспорта нефти и газа [1,5].

В 1961 г. было зарегистрировано открытие Васильева В.Г., Макагона Ю.Ф., Требина Ф.А., Трофимука А.А., Черского Н.В. «Свойство природных газов находиться в твердом состоянии в земной коре» [2], возвестившее о новом природном источнике углеводородов – ГГ. Авторами открытия были предложены способы добычи газа из газогидратных месторождений – путем повышения температуры или снижения давления в такой залежи.

Плотность ГГ близка к плотности воды. Например, плотность гидрата метана равна 913 кг/м<sup>3</sup>, гидрата этана – 967 кг/м<sup>3</sup>, гидрата пропана – 899 кг/м<sup>3</sup>. **Гидрат метана – это пример чистого и потенциально огромного энергетического ресурса.** Для высвобождения метана из ГГ потребуется примерно в 15 раз меньше энергии, по сравнению с количеством

содержащейся в самом метане тепловой энергии [3], а в 1 м<sup>3</sup> ГГ метана содержится 160 м<sup>3</sup> метана и 850 л воды.

Объем мировой добычи природного газа (в основном метана) на уровне  $2,5 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> при разведанных запасах в месторождениях природного газа в количестве  $180 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> обеспечит промышленную эксплуатацию известных месторождений не более чем на 70 лет [5].

**Количество газа в ГГ залежах на нашей планете составляет  $(16-14000) \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> [3, 4]. Это энергетический резерв человечества более чем на тысячу лет.** Российские запасы газа по международным оценкам составляют  $48 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>, а российские ресурсы ГГ в количестве более  $100 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> сосредоточены в Западной Сибири и на шельфе. Добыча, транспортировка и переработка ГГ достаточно сложна, но при годовой добыче газа на уровне 2008 г. ( $665 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>) запасов газа в месторождениях природного газа также хватит на 70 лет, а **разработка ГГ залежей обеспечит Россию природным газом еще на сотни лет. Поэтому разработка ГГ месторождений – важная мировая научно-техническая проблема [5].**

Метан находится в твердой гидратной форме при атмосферном давлении ниже температуры  $-29^{\circ}\text{C}$ . При умеренных давлениях газовые гидраты природных газов существуют вплоть до  $+20 \div 25^{\circ}\text{C}$  [7]. Отметим, что ГГ относятся к нестехиометрическим соединениям, то есть соединениям переменного состава [8]. Найденные условия образования и стабильности гидрата метана позволили прогнозировать возможные зоны ГГ залежей на суше на глубине 200–1100 м при температуре от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$  и в придонных слоях водоемов на глубине 1200–1500 м при температуре  $+0 \div 17^{\circ}\text{C}$ . Эти прогнозы начали подтверждаться с 1969 г. Такие залежи найдены в северных районах Западной Сибири, на Дальнем Востоке и на шельфе, затем на Аляске и в Канаде, а позднее во многих других странах. На основании прогноза по геотермическим данным найдены газогидратные отложения в пресноводном водоеме при бурении в южной котловине о. Байкал на глубине 1433 м [5,6].

На суше России выявлены такие газогидратные объекты, как Ямбургское и Бованенковское (реликтовые газогидраты, находящихся вне современной зоны термодинамической стабильности газовых гидратов), Улан-Юряхинская антиклиналь (стабильные гидраты), а также реликтовые газогидраты на Чукотке и в Колымском крае [5,7].

В настоящее время препятствием для разработки месторождений ГГ является дороговизна технологии добычи. Так, месторождение ГГ Мессояхское в России начало разрабатываться с помощью закачки метанола для расщепления ГГ. Из-за высокой стоимости метанола проект признан нерентабельным. При этом из Мессояхского

месторождения в течение ряда лет производился отбор газа. На 01.01.2001 г. суммарный отбор газа составил 11,6 млрд м<sup>3</sup>, из которых 5,7 млрд. м<sup>3</sup> поступило в результате разложения гидратов при снижении пластового давления ниже равновесного. Среднее пластовое давление за 30 лет разработки понизилось с 7,8 до 6,2 МПа. При отсутствии ГГ, согласно проекту разработки, пластовое давление должно было понизиться до 4 МПа [7-9].

В 1979 г. в Южном Каспии определены и описаны газогидраты, поднятые с глубины 480 м. Содержание газогидратов в осадке визуально оценивалось в 5-10% от объема грунта. Результаты анализа газогидратов показывают, что химический состав остаточного пластового газа; об. % (см<sup>3</sup>/л) резко отличается от состава газов биохимического происхождения. В газовой смеси газогидратов грязевого вулкана содержится метан (СН<sub>4</sub>) – 22,2 – 73,7 см<sup>3</sup>/л; углекислого газа – СО<sub>2</sub> (14,28 – 34,97 см<sup>3</sup>/л, гомологи метана и их производных (до 17%) [1,2]. Распространение осадков с возможными локальными фаціальными зонами газогидратов, переслаивание газонасыщенных и неgasонасыщенных разностей в разрезе осадочной толщи. Это снижает расчетные запасы газогидратов в Мировом океане, а также затрудняет их разработку; добыча газогидратов из морских осадков может привести к ликвидации поверхностного слоя вместе с населяющим его бентосом, уничтожение данных организмов – к необратимым нарушениям экологического равновесия, что подорвет биологические ресурсы Мирового океана [11].

В статье рассматриваются наши изобретения, относящиеся к способам добычи природного газа в открытом море, свободно выходящего из газовыделяющих дольных участков в виде фонтанов (факелов) [12-16] (см. Рис. 1).

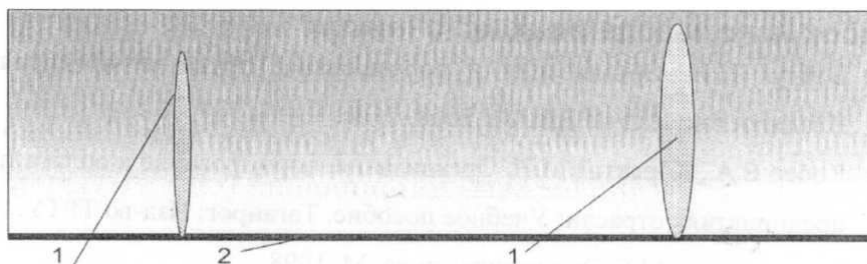


Рис. 1. Исходная ситуация на дне моря с образованием газовых фонтанов (факелов):

1 – газовый фонтан (факел);

2 – дно моря.

В ходе исследований, проведенных в ТОИ ДВО РАН в Охотском море, установлено, что большая часть газовых фонтанов (факелов) концентрируется в пределах 600-900 м (Cruise Report..., 2003; Salomatin, 2006). Наиболее распространенными являются факела в виде удлиненных узких эллипсоидов, поднимающихся из морского дна в вертикальном направлении. Высота их варьирует от 90 до 500 м, ширина – до 300 м. Иногда факела

кажутся отделенными от дна и двигаются свободно в воде, но поддерживают свою форму и пространственную ориентацию. Менее распространенные факела сложной сноповидной формы достигают высоты 400 м и ширины 600 м. Факела в виде облаков встречаются, главным образом, над вершинами подводных холмов. Часто такие образования имеют горизонтально ориентированные слои, связывающие два смежных факела. Кроме того, встречаются целые поля факелов, вызванных незначительными газовыделениями и протягивающихся на расстояние до 10-12 км (Cruise Report..., 1999, 2000, 2005).

Известен способ добычи природного газа в открытом море, включающий сбор газа из газовых фонтанов над газовыделяющими участками дна с помощью куполообразного газосборника, установленного на поверхности дна, передачу газа из газосборника в газгольдер, снабженный средствами выгрузки, компактирование объема газа, подачу на судно-сборщик сигнала при заданном дополнении газгольдера и отгрузку его содержимого на судно-сборщик (см. RU 2078199, E21B 43/01, 1994). Недостаток этого решения - невысокая экономическая эффективность устройства при отработке газогидратных залежей, как источников газовых фонтанов, особенно при распределении газовых фонтанов на ограниченных по площади участках, при условиях переменного дебита газа. Непонятно, как осуществлять смену газгольдеров, полезный объем которых, по заявлению авторов, порядка 10 м<sup>3</sup>. Оценивая эффективность процесса добычи, можно отметить его неэффективность на больших глубинах (превышающих 600-800 м).

На Рис. 2 показана схема реализации способа добычи природного газа в открытом море на этапе заполнения аккумулирующей емкости; на Рис. 3 – схема реализации способа добычи газа в период его отгрузки из аккумулирующей емкости на судно-сборщик.

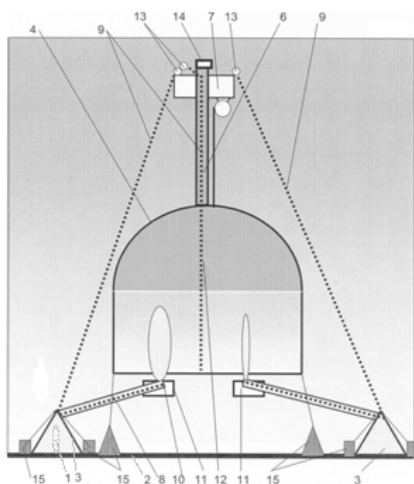


Рис. 2. Схема реализации способа

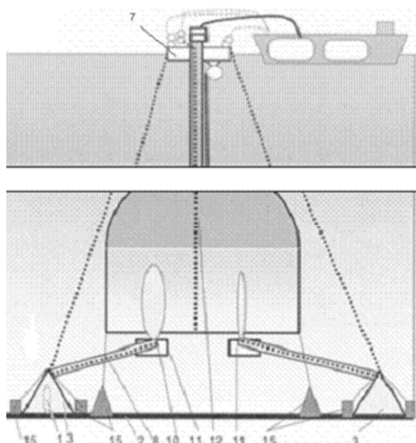


Рис. 3. Схема реализации способа

добычи природного газа в открытом море на этапе заполнения	добычи газа в период его отгрузки из аккумулирующей емкости на судно-сборщик
аккумулирующей емкости	

Позиции на Рис. 2 обозначают: газовые фонтаны 1, дно 2, куполообразный газосборник 3, аккумулирующая емкость – (газгольдер) 4, судно-сборщик 5, выдачной трубопровод 6, снабженный плавучестью 7, трубопроводы 8, средства электроподогрева 9, концы 10 трубопроводов 8, снабженные плавучестью 11, нижний участок 12, средства электроподогрева 9, выдачного трубопровода 6, герметические электрические разъемы 13, запорная арматура 14, якорные блоки 15.

Куполообразный газосборник 3 и аккумулирующая емкость 4 конструктивно подобны и отличаются размерами (объем полостей первых порядка сотни м<sup>3</sup>, вторых - порядка 50-100 тысяч м<sup>3</sup>). Они выполнены в виде мягких оболочек из прочных синтетических материалов, заключенных в сетчатый каркас из синтетических канатов, к нижним точкам которого крепятся якорные блоки 15. Газосборники 3 могут быть также выполнены в виде жесткого каркаса (на чертежах не показан), монтируемого на месте или «самораскрывающегося» (например, с использованием сплавов с памятью формы), снабженного мягкой оболочкой и якорными блоками 15. Верхние участки куполообразных газосборников 3 и аккумулирующей емкости 4 снабжены трубопроводами (первые - трубопроводами 8, вторая - выдачным трубопроводом 6) с плавучестью, соответственно, 11 и 7 на концах. Плавучесть 7 выдачного трубопровода 6 выполнена с возможностью ее погружения в толщу воды (например, ниже глубины поверхностного волнения).

Для решения поставленных задач комплекс для добычи природного газа в открытом море на большой глубине, включающий газосборный узел, выполненный с возможностью установки под водой и улавливания газа с передачей последнего в газгольдер, емкостью 50-100 тыс. м<sup>3</sup>, выполненный с возможностью позиционирования в толще воды и подъема на поверхность и обслуживающее судно, отличается тем, что газгольдер выполнен с плавучестью, близкой к нулевой, его корпус выполнен с возможностью поддержания в его полости термобарических условий на уровне, исключающем диссоциацию гидрата природного газа.

При работе во льдах судно-сборщик должно иметь соответствующий ледовый класс, обеспечивающий его безопасную работу либо должно сопровождаться ледоколом. При этом для всплытия куполообразного газосборника необходимо предварительно формировать

полностью соответствующих размеров. В остальном, работа в ледовых условиях не отличается от ранее описанных.

### **Заключение**

В статье представлено краткое содержание исследований, проведенных Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО РАН и Дальневосточным государственным техническим университетом по теме: «Условия формирования и разрушения газогидратов в Охотском море, их моделирование и технико-экономическое обоснование извлечения метана из газогидратов». Особое внимание в исследованиях уделялось разработке функциональных схем технологических процессов разрушения газогидратов в термобарических процессах близких к неравновесным, из неустойчивых газогидратных залежей и стабильных газогидратов.

Анализ научно-исследовательских и литературных источников, приведенных в статье и рассмотренных ранее, показывает, что газогидраты представляют собой энергетический резерв человечества, по крайней мере, на многие сотни лет. По химическому составу газогидраты – это, в основном, метан, в качестве примесей присутствуют углекислый газ, окись углерода, гомологи метана. Добыча, транспортировка и переработка газогидратов является сложнейшей научно-технической проблемой. Газогидратные месторождения распространены, в основном, локальными зонами, по фациальному составу могут быть с переслаиванием газонасыщенных и не газонасыщенных участков осадочной толщи. Это снижает расчетные запасы газогидратов в Мировом океане, затрудняет их разработку, может привести к ликвидации поверхностного слоя вместе с населяющим его бентосом.

В настоящее время в силу изложенных выше факторов необходимо проведение дальнейших опытно-промышленных исследований на основе соблюдения экологических регламентов. Представляется целесообразным производить эффективную отработку газогидратных залежей как источников газовых фонтанов, особенно, при распределении их на ограниченных по площади участках и снижении энергоемкости процесса приема и компактирования газа.

### **Список литературы**

1. Ефремова А.Г., Гритчина Н.Д. ВНИИГаз. Газогидраты в морских осадках и проблема их практического использования. Библиотека Дамирджана-Геология нефти и газа.1981-№ 02. С. 4.

<http://geolib.ru/OilGasGeo/1981/02/Stat/stat07.html>

2. Свойство природных газов находиться в земной коре в твердом состоянии и образовывать газогидратные залежи/В.Г. Васильев, Ю.Ф. Макогон, Ф.А. Требин и др. – В кн.: Открытия СССР, 1968-1969. М., 1970. С.5.
3. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. М., Недра, 1974.
4. Трофимук А.А., Черский Н.В., Царев В.П. Газогидраты – новые источники углеводородов. – Природа, 1979, № 1, с. 18-27.
5. Хавкин А.Я., Табакаева Л.С. (ИПНГ РАН). Инновационная технология разработки месторождений газогидратов. Электронный научный журнал «Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика».  
[oilgasjournal.ru/vol\\_5/havkin-tabakeeva.html](http://oilgasjournal.ru/vol_5/havkin-tabakeeva.html)
6. Мировые перспективы природного газа/Накиценович Н., Грицевский А., Грлоблер А. и др. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 84 с.
7. Истомина В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. М.: Недра, 1992, 236 с.
8. Хавкин А.Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа. М.: ПЦ «НТИС», Спутник, 2008, 148 с.
9. Сорокин А.В., Хавкин А.Я. О механизме гидратообразования// Международная научно-техническая конференция «Нефть, газ Арктики, г. Москва, 27-29 июня 2006 г., М., 2007. С. 227-336.
- 10.Ефремова А.Г., Жижченко Б.П. Об обнаружении кристаллогидратов газов в современных акваториях. – Докл. АН СССР, 1974, т. 214. № 5, с. 1179-1181.
- 11.Ефремова А.Г. Типы газопродуцирующих отложений. – Геология нефти и газа, 1979, № 2, с. 50-54.
- 12.Жуков А.В., Звонарев М.И., Обжиров А.И. Способ добычи природного газа в открытом море. Патент на изобр. RU № 2381348. Оpubл. 10.02.2010. с. 7, илл. 3.
13. Жуков А.В., Звонарев М.И., Обжиров А.И. Комплекс для добычи природного газа в открытом море. Патент на изобр. RU № 2382875, опубл. 7.02.2010. с. 8, илл. 3.
14. Жуков А.В., Звонарев М.И., Обжиров А.И. Газгольдер. Патент на изобр. RU № 2383717, опубл. 10.03.2010. с. 5, илл.2.
15. Жуков А.В., Звонарев М.И., Обжиров А.И., Петухов В.И., Тагильцев А.А. Способ добычи природного газа в открытом море. Патент на изобр. RU № 2393337, опубл. 27.06.2010. с. 7, илл.5.
16. Жуков А.В., Звонарев М.И., Обжиров А.И., Петухов В.И., Тагильцев А.А. Установка для добычи природного газа в открытом море. Патент на изобр. RU № 2393338, опубл. 27.06.2010, с. 5, илл. 1.