

А.Г. Иванов, Р.А. Атласов, С.С. Бердыев, М.В. Николаева, Б.В. Соколова
СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА В ГИДРАТНОМ СОСТОЯНИИ

Аннотация. В статье авторы предлагают постепенный уход от устаревшей практики досрочного/срочного завоза энергоносителей в отдаленные населенные пункты и промышленные объекты. Обозначены основные направления исследований для перехода от научно-исследовательского уровня к уровню промышленного внедрения. Рассмотрен характер разложения газовых гидратов для разработки современной технологии транспортировки и хранения природного газа и его компонентов в гидратном состоянии. Преимущества данной технологии заключаются в стабильности и компактности хранилища из-за свойства газа в гидратном состоянии занимать при тех же давлении и температуре меньший объем, чем в свободном состоянии. Это дает возможность обеспечения газом населенных пунктов и промышленных объектов, находящихся вдали от магистрального газопровода, в частности, в Арктической зоне. Изучена возможность использования в качестве хранилищ подземные резервуары. Особенность данной технологии заключается в том, что толща многолетнемерзлых пород (ММП), в котором расположены резервуары, имеет постоянную отрицательную температуру, вследствие чего не допустит начала процесса распада газогидрата. Контролируемый сбор и выделение газа из газового гидрата производится за счет регулирования температуры и давления внутри резервуара. Преимущества хранения газовых гидратов в резервуарах в условиях ММП для автономного обеспечения природным газом очевидны: большие объемы при

ИВАНОВ Александр Геннадиевич – зав. лабораторией каф. нефтегазового дела ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: iag-sakha@mail.ru

IVANOV Aleksandr Gennad'evich – Head of the laboratory, Department of Oil and Gas Field Search, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: iag-sakha@mail.ru

АТЛАСОВ Ринат Александрович – ст. преподаватель каф. нефтегазового дела ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: atlasov.rinat@mail.ru

ATLASOV Rinat Aleksandrovich – Senior Lecturer, Department of Oil and Gas Field Search, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: atlasov.rinat@mail.ru

БЕРДЫЕВ Саид Сангинмуродович – ст. преподаватель каф. нефтегазового дела ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: sidbersan@gmail.com

BERDIYEV Said Sanginmurodovich – Senior Lecturer, Department of Oil and Gas Field Search, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: sidbersan@gmail.com

НИКОЛАЕВА Мария Валентиновна – зав. лабораторией каф. нефтегазового дела ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: mnikolaeva1990@gmail.com

NIKOLAeva Maria Valentinovna – Head of the laboratory, Department of Oil and Gas Field Search, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: mnikolaeva1990@gmail.com

СОКОЛОВА Белла Виссарионовна – студент ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: ndsvfu@mail.ru

SOKOLOVA Bella Vissarionovna – student, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: ndsvfu@mail.ru

сравнительно малых площадях, сокращение количества рейсов завоза энергоносителей, высокая экологическая, пожаро- и взрывобезопасность. Описаны успешные методики синтезирования гидратов метана, этана и природного газа с высокой гидратонасыщенностью лабораторным путем. Методика заключается в добавлении ПАВ-агента в раствор для улучшения контакта жидкость-газ и применении дополнительных металлических конструкций (МК) для повышения поверхности контакта гетерогенных фаз. Значительное ускорение времени синтеза газовых гидратов происходит за счет сокращения индукционного периода и увеличения гидратонасыщенности при определенном сочетании технологических способов использования раствора ПАВ и металлической конструкции.

Ключевые слова: синтетические газогидраты, подземный резервуар, эффект самоконсервации, многолетнемерзлые породы.

A.G. Ivanov, R.A. Atlasov, S.S. Berdyev, M.V. Nikolaeva, B.V. Sokolova

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Improving Efficiency of Gas Supply Systems in the Arctic Zone with Creation of Underground Gas Storages in the Hydrated State

Abstract. In the article, the authors propose a gradual departure from the outdated practice of early/urgent import of energy carriers to remote settlements and industrial facilities. The main directions of research for the transition from the research level to the level of industrial introduction are indicated. The nature of decomposition of gas hydrates for the development of modern technology for transportation and storage of natural gas and its components in the hydrated state is considered. The advantages of this technology are the stability and compactness of the storage due to the property of gas in the hydrate state to take a smaller volume at the same pressure and temperature than in the free state. This makes it possible to provide gas to populated areas and industrial facilities located far from the main gas pipeline, in particular, in the Arctic zone. The possibility of using underground reservoirs as storage facilities are studied. The peculiarity of this technology lies in the fact that the thickness of permafrost in which the reservoirs are located has a constant negative temperature, which will prevent the beginning of the gas hydrate decomposition process. Controlled collection and release of gas from the gas hydrate is done by controlling the temperature and pressure inside the tank. The advantages of storing gas hydrates in tanks under permafrost conditions for autonomous provision with natural gas are obvious: large volumes in relatively small areas, a reduction in the number of energy import routes, high environmental, fire and explosion safety. Successful methane hydrate methane, ethane, and natural gas hydrate-rich methane synthesis methods are described in the laboratory. The technique consists of adding a surfactant agent to the solution to improve liquid-gas contact and the use of additional metal structures (MCs) to increase the contact surface of heterogeneous phases. Significant acceleration of the synthesis of gas hydrates occurs due to the reduction in the induction period and an increase in hydration in the presence of a certain combination of technological methods for the use of a surfactant solution and a metal structure.

Keywords: synthetic gas hydrates, underground reservoir, self-preservation effect, permafrost.

Введение

В настоящее время газоснабжение отдаленных населенных пунктов и промышленных объектов в Арктической зоне обеспечивается путем досрочного/срочного завоза энергоносителей. Специфика такого завоза обусловлена экстремальными природно-климатическими и географическими условиями, высокими финансовыми затратами, низкой транспортной обеспеченностью, отдаленностью, сезонностью транспортной доступности. Для обеспечения стабильных поставок газа в отдаленные населенные пункты и промышленные объекты необходима разработка современных технологий транспорта и хранения природного газа, основой создания которых рассматриваются газовые гидраты.

Газовые гидраты – кристаллические соединения, образующиеся из воды (водного раствора, льда, водяных паров) и низкомолекулярных газов при определенных термобарических условиях. Образование газогидратов из воды, индивидуальных газов и их смесей – это медленный процесс формирования клеточноподобного пространства за счет взаимной ориентации компонентов, каждый из которых обладает диполем. К наиболее интенсивному зарождению, росту и

формированию газовых гидратов, как правило, приводят высокая концентрация газа-гидратообразователя, которая технически реализуется путем повышения давления в системе.

Искусственное получение в закрытой системе гидратов метана и этана

В настоящее время многими промышленно развитыми странами ведется осуществление национальных программ научно-практического изучения природных газогидратов, однако пилотный проект по газогидратной технологии хранения и транспорта газа существует только в Японии. Для транспортировки газогидратных брикетов используются два типа контейнеров для автомобильной перевозки – на 7 т и 0,5 т. Оба типа контейнеров предназначены для разномасштабных потребителей газа. Технология состоит в том, что на специализированной установке производятся плотные брикеты замороженного газогидрата, эти брикеты загружаются в соответствующие автомобильные контейнеры с охлаждением (рефрижераторы) и перевозятся к месту газификации – электростанции и жилому кварталу на расстоянии до 400 км от места производства гидратов. Путём частичного нагрева газогидраты постепенно разлагаются внутри контейнеров, выделяя необходимые объёмы газа. Затем контейнеры с оставшейся водой транспортируются обратно к месту производства гидратов [1,2].

Газовые гидраты обладают отличительными свойствами: высокое удельное газосодержание (до 164 м³ метана на м³ гидрата) и способность к самоконсервации при температурах ниже 0° С. Данные свойства газовых гидратов дают возможность разработки новых газогидратных технологий для создания подземных хранилищ газа в гидратном состоянии в районах, отдаленных от магистральных газопроводов. Для этого необходимо решить вопросы, связанные с ускорением процесса образования гидратов и получением твердой фазы с высоким газосодержанием (>70 %).

Российскими учеными ИПНГ СО РАН успешно проведены экспериментальные исследования по искусственному получению в закрытой системе гидратов метана и этана с высокой гидратонасыщенностью и различной нативной структурой. В ходе экспериментов использованы металлические конструкции (МК) для повышения поверхности контакта гетерогенных фаз [3] и раствор ПАВ для улучшения контакта жидкость-газ, но не влияющий на равновесные условия гидратообразования и температур фазового перехода [4,5]. Установлено, что при сочетании технологических способов использования раствора ПАВ и металлической конструкции происходит значительное ускорение времени синтеза за счет сокращения индукционного периода и увеличение гидратонасыщенности (до 86 %) [6].

В закрытой системе в условиях свободной конвекции были получены гидраты метана с высокой гидратонасыщенностью и различной нативной структурой. Далее, с применением тех же технологических приемов, которые использовались при получении гидратов метана, учеными ИПНГ СО РАН были искусственно получены и гидраты этана. В случае с этаном процесс гидратообразования идет преимущественно при положительных температурах и без заметного индукционного периода. Процесс образования основной массы гидрата этана длился в среднем 5 суток. Таким образом, по сравнению с образованием гидрата метана, в условиях свободной конвекции процесс гидратообразования из этана протекает в два раза быстрее [6].

Преимущества технологии транспортировки и хранения природного газа и его компонентов в гидратном состоянии заключаются в стабильности и компактности хранилища из-за свойства газа в гидратном состоянии занимать при тех же давлении и температуре меньший объем, чем в свободном состоянии.

Сооружение подземных резервуаров

Для хранения непосредственно на местах потребления можно использовать подземные хранилища. Оно представляет собой резервуар, находящийся в толще многолетнемерзлых пород (ММП), где круглогодичная отрицательная температура окружающей породы не допустит начала процесса распада газогидрата. Процесс контролируемого выделения газа и его дальнейший сбор будет производиться за счет увеличения температуры или снижения давления внутри резервуара.

Для сооружения подземных резервуаров под углеводородное сырье подойдут стандартные резервуары – вертикальные или горизонтальные стальные (РГС, РВС), исключением будет приспособление люков-лазов под загрузку твердого газогидрата.

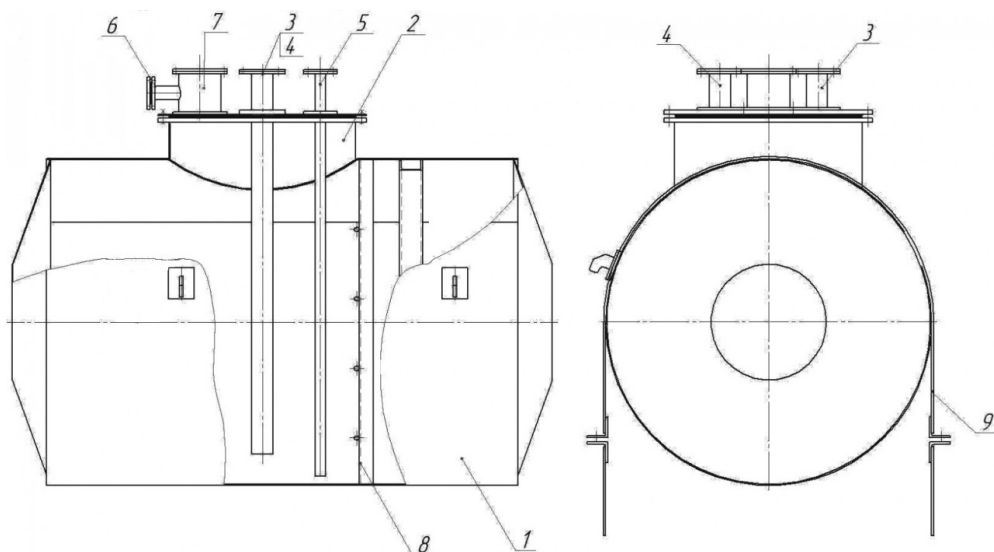


Рис. 1. РГС для подземного хранения газогидрата

1 – корпус резервуара, 2 – люк-лаз, 3 – патрубок нагнетания, 4 – патрубок откачки, 5 – патрубок за-
чистки, 6 – патрубок вентиляционный, 7 – патрубок люка замерного, 8 – лестница, 9 – хомут

В случае Арктики от технологии перевозки и хранения в герметичных контейнерах можно отказаться, т.к. при температуре окружающей среды ниже 0 градусов Цельсия замороженные гидраты можно перевозить и в негерметичных ёмкостях [7]. Это открывает возможности для автономного газоснабжения арктических посёлков: раз в несколько лет по Северному морскому пути может проходить танкер-гидратовоз и сгружать запасы замороженных гидратов в хранилища, сооружённые в вечной мерзлоте вблизи посёлков. Оттуда гидраты могут расходоваться по мере надобности для газоснабжения посёлка. При этом ничего, кроме пресной воды, не остаётся, т.е. экология не нарушается.

Оценить стоимость такой доставки пока не представляется возможным вследствие отсутствия опытно-промышленных испытаний этой технологии в нашей стране.

Результаты проведенного анализа показывают, что получение искусственного газогидрата с высоким газосодержанием без применения сложных технологий возможна. Описанная методика получения газогидрата в закрытом реакторе позволяет понять процессы гидратообразования, но не сможет обеспечить большие рентабельные объемы производства даже при увеличении масштаба. В работе [8] приведено описание разработки цеха непрерывного производства газогидратов из воды или ледяных заготовок.

Положительной стороной применения подземного хранилища газогидратов в ММП для автономного обеспечения природным газом населения являются:

- большие объемы хранения при малых площадях;
- сокращение объемов рейсов завоза;
- высокая экологическая безопасность;
- пожаро- и взрывобезопасность.

К минусам можно причислить только сезонность завоза без использования рефрижераторных установок.

Заключение

В мире нет опыта использования синтетических гидратов, т.к. эффект самоконсервации [9] был открыт не так давно, а без этого эффекта хранение газогидратов требует сосудов высокого давления. Но перспективы у газогидратных технологий есть, и не только в области транспортировки и хранения природного газа.

Принимая во внимание, что обеспечение природным газом отдаленных населенных пунктов Арктической зоны традиционным трубопроводным транспортом требует больших инвестиций и зачастую нецелесообразно, а сезонные завозы газа не обеспечивают требуемых нужд для развития представленных регионов, технология транспортировки и хранения газа в гидратном состоянии выглядит крайне перспективной. Дальнейшие исследования по данному направлению в совокупности с созданием цеха по непрерывному производству газогидратов в больших объемах смогут расширить возможности автономного газоснабжения данных населенных пунктов и стать энергетическим толчком для развития Арктических территорий.

Литература

1. Shirota H., Aya I., Namie S. Measurement of methane hydrate dissociation for application to natural gas storage and transportation // Proceedings of the 4th International Conference on Gas Hydrates. – Yokohama, Japan, 2002. – P. 972-977.
2. Takashi Nakata, Kazushi Hirai, Tatsuya Takaoki. Study of natural gas hydrate (NGH) carriers // Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008). – Vancouver, British Columbia, Canada, 2008.
3. Мельников В.П., Нестеров А.Н., Феклистов В.В. Устройство для получения газогидратов / Патент, № 2166348. – Бюл. № 13 от 10.05.2001.
4. Истомина В.А., Нестеров А.Н., Чувилин Е.М., Квон В.Г., Решетников А.М. Разложение гидратов различных газов при температурах ниже 273° К // Газохимия. – 2008. – № 3. – С. 30-44.
5. Нестеров А.Н. Кинетика и механизм гидратообразования газов в присутствии поверхностно-активных веществ: дисс. д. хим. н.: 02.00.04 – Тюмень: Институт криосферы земли, 2006. – 279 с.
6. Семенов М.Е., Шиц Е.Ю., Сафронов А.Ф. Исследование особенностей искусственного получения гидратов метана и этана в условиях свободной конвекции // Газохимия. – 2011. – № 1 (17). – С. 18-23.
7. Семенов М.Е., Шиц Е.Ю. Изучение морфологии синтетических гидратов природного газа, полученных из льда в установках закрытого типа // Nauka-rastudent.ru. – 2016. – No. 10 (034). – С. 17.
8. Семенов М.Е., Шиц Е.Ю. Портнягин А.С. Способ получения гидратов природного газа и разработка на его основе концептуальной технологической схемы их производства // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2016. – № 3. – С. 53-58.
9. Макогон Ю.Ф. Газогидраты: результаты и проблемы // Газовая промышленность. – Спецвыпуск. – 2012. – С. 82-88.

References

1. Shirota H., Aya I., Namie S. Measurement of methane hydrate dissociation for application to natural gas storage and transportation // Proceedings of the 4th International Conference on Gas Hydrates. – Yokohama, Japan, 2002. – P. 972-977.
2. Takashi Nakata, Kazushi Hirai, Tatsuya Takaoki. Study of natural gas hydrate (NGH) carriers // Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008). – Vancouver, British Columbia, Canada, 2008.
3. Mel'nikov V.P., Nesterov A.N., Feklistov V.V. Ustroistvo dlia polucheniia gazogidratov / Patent, № 2166348. – Biul. № 13 ot 10.05.2001.
4. Istomin V.A., Nesterov A.N., Chuvilin E.M., Kvon V.G., Reshetnikov A.M. Razlozhenie gidratov razlichnykh gazov pri temperaturakh nizhe 2730 K // Gazokhimiia. – 2008. – № 3. – S. 30-44.
5. Nesterov A.N. Kinetika i mekhanizm gidratoobrazovaniia gazov v prisutstvii poverkhnostno-aktivnykh veshchestv: diss. d. khim. n.: 02.00.04 – Tiumen': Institut kriosfery zemli, 2006. – 279 s.
6. Semenov M.E., Shits E.Iu., Safronov A.F. Issledovanie osobennostei iskusstvennogo polucheniia gidratov metana i etana v usloviakh svobodnoi konveksii // Gazokhimiia. – 2011. – № 1 (17). – S. 18-23.
7. Semenov M.E., Shits E.Iu. Izuchenie morfologii sinteticheskikh gidratov prirodnogo gaza, poluchennykh iz l'da v ustanovkakh zakrytogo tipa // Nauka-rastudent.ru. – 2016. – No. 10 (034). – S. 17.
8. Semenov M.E., Shits E.Iu. Portniagin A.S. Sposob polucheniia gidratov prirodnogo gaza i razrabotka na ego osnove kontseptual'noi tekhnologicheskoi skhemy ikh proizvodstva // Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ia. – 2016. – № 3. – S. 53-58.
9. Makogon Iu.F. Gazogidraty: rezul'taty i problemy // Gazovaia promyshlennost'. – Spetsvypusk. – 2012. – S. 82-88.