

Внедрение технологии производства из гидрата метана газообразного и жидкого метана — путь освоения энергоресурсов Севера

Е. П. Федоров, кандидат технических наук,
Л. С. Яновский¹, доктор технических наук,
Н. И. Варламова², В. В. Разносчиков³, кандидат технических наук,
И. А. Демская⁴

ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова»

Приведены способы получения из гидрата метана свободного метана. Показаны их преимущества и недостатки. Представлена схема установки с реактором для получения из гидрата метана газообразного и жидкого метана.

Ключевые слова: гидрат метана, газовые гидраты, Арктика, Антарктика.

При непрерывном росте потребления традиционных энергоносителей — нефти, природного газа, каменного угля — и неизбежном истощении их запасов все острее встает задача вовлечения в потребление альтернативных энергоносителей. Одним из них является гидрат природного газа.

Запасы природного газа в Арктике, Антарктике, на дне океанов и морей в составе газовых гидратов на порядки превышают разведанные запасы свободного природного газа. Это делает весьма привлекательным рассмотрение возможности

использования гидратов природного газа в качестве сырья для производства свободного природного газа. При этом предпочтительно, чтобы промышленная установка позволяла получать из гидрата природного газа сжатый газ высокого давления и/или сжиженный природный газ.

Газовые гидраты представляют собой кристаллические твердые вещества, состоящие из молекул газа, окруженных каркасом из молекул воды. Газовые гидраты образуют твердую фазу при давлениях выше и температурах ниже, чем те, которые необходимы для превращения воды в лед [1].

В северных районах России, где имеются большие наземные залежи газогидратов, природный газ основных месторождений содержит в своем составе 98—99% метана [2]. Поэтому в дальнейшем все расчеты приводятся для гидрата метана как гидрата природного газа.

¹ yanovskiy@ciam.ru.

² varlamova@ciam.ru.

³ raznoschikov@ciam.ru.

⁴ demskaya@ciam.ru.

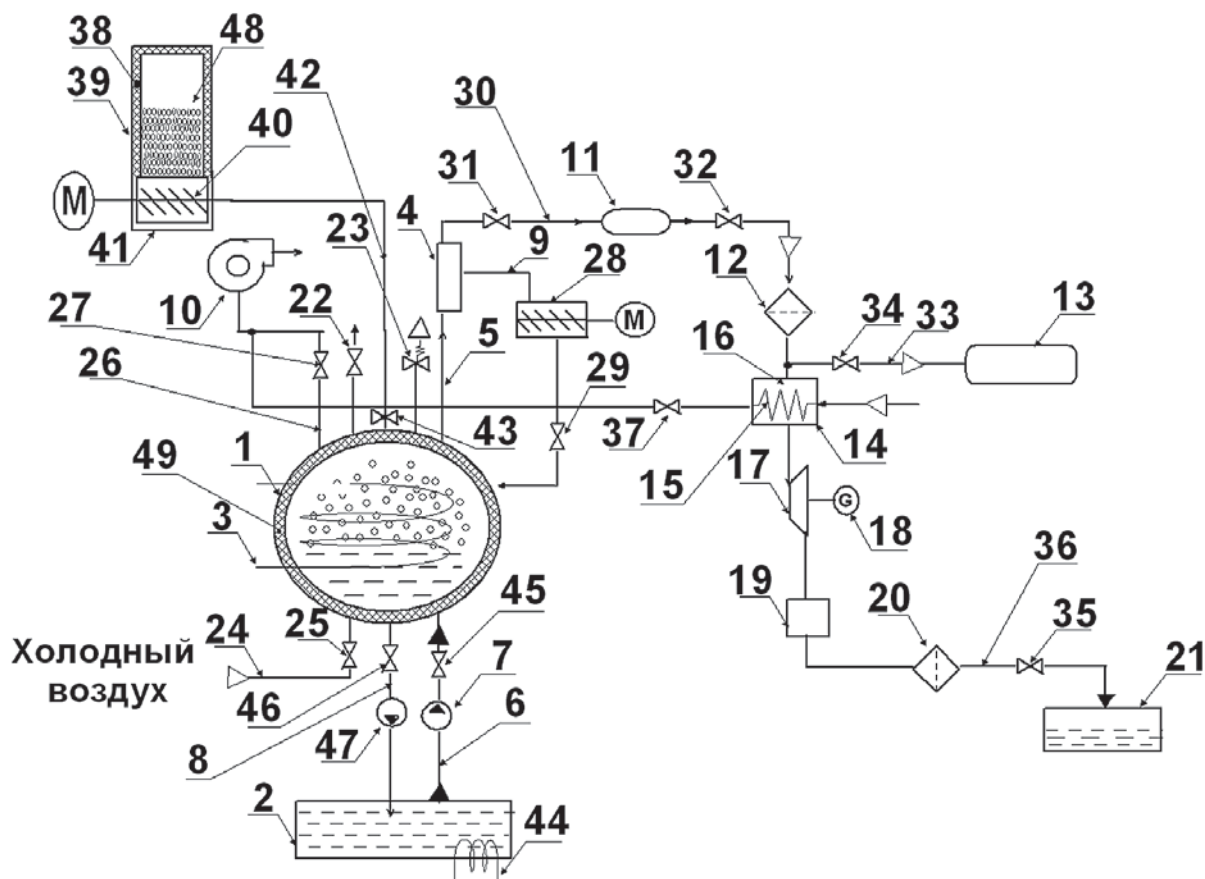


Рис. 1. Схема установки для получения из гидрата метана разовой партии газообразного и жидкого метана

Гидрат метана обладает следующими характеристиками:

- формула — $\text{CH}_4 \cdot 5,9\text{H}_2\text{O}$;
- соотношение метана к воде — 1:6,64 (масс.);
- плотность гидрата — $0,90 \text{ г/см}^3$.

Давление насыщенных паров гидрата метана составляет 1 атм при температуре -29°C .

В настоящее время основными способами получения из гидрата природного газа метана являются:

- способ замещения метана углекислым газом в гидрате природного газа;
- способ разложения гидрата природного газа на метан и воду при подводе тепла.

Первый способ основан на том, что гидрат CO_2 является более стабильным, чем гидрат метана, и молекулы CO_2 могут замещать в нем молекулы метана. Эта реакция протекает на поверхности и в мелких порах гидрата, поэтому эффективность процесса замещения определяется тем, в какой мере обеспечивается подвод CO_2 внутрь объема гидрата.

Для выработки из пласта гидрата метана газообразного метана в пласт через скважину закачивается жидкий диоксид углерода. Через эту же

скважину на поверхность поступает замещенный диоксидом углерода газообразный метан.

Основные преимущества способа замещения метана углекислым газом в гидрате природного газа состоят в том, что, во-первых, решается проблема захоронения парникового газа, каким является диоксид углерода, и, во-вторых, не дестабилизируется гидратный пласт. Недостатки — необходимость затраты энергии на получение жидкого диоксида углерода и очистки добываемого метана от засорения этим газом.

США и Япония в совместном заявлении объявили об успешных полевых испытаниях на Аляске этой технологии замещения, которая впервые в мире использует углекислый газ для получения метана из гидрата природного газа [3].

В данной статье основное внимание уделено второму способу. Его сущность можно понять из рассмотрения предлагаемой принципиальной схемы.

Метан из газогидрата метана по этому способу можно получать отдельными партиями и непрерывно. Принципиальная схема установки для получения газообразного метана высокого давления

и охлажденного до температуры кипения метана разовой партией показана на рис. 1.

Предполагается, что установка располагается в Заполярье с температурой воздуха в период эксплуатации установки ниже -30°C . Установка включает устройство для получения метана из гидрата метана и узел загрузки гидрата метана.

Устройство для получения метана включает реактор с его коммуникациями. Во избежание замерзания воды в каналах этой части установки она должна находиться в отапливаемом помещении с положительной температурой воздуха. Реактор должен быть теплоизолированным. Узел загрузки гидрата метана должен находиться вне отапливаемого помещения.

Для обеспечения непрерывной работы установка должна содержать по меньшей мере еще один реактор для получения свободного метана из гидрата метана.

При циклической работе установка функционирует следующим образом. Перед загрузкой в реактор гидрата метана выполняют продувку реактора 1 холодным воздухом с температурой ниже -30°C через трубопровод 24 с краном 25 на входе в реактор, а на выходе из реактора — через трубопровод 26 отвода холодного воздуха с краном 27 и вентилятор 10 в атмосферу. При достижении температуры внутренних стенок реактора 1 ниже -30°C переключают краны 25, 27, 45, 46 соответственно трубопроводов 24, 26, 6, 8 и отключают вентилятор 10. Открывают кран 22 суфлирования полости реактора 1 с атмосферой. Включают привод 40 винтового насоса 39 узла загрузки гидрата и из резервуара 38 через вертикальный отвод 42 с задвижкой 43 гранулы 48 гидрата метана загружают в реактор 1. После загрузки реактора 1 гидратом до заданного уровня винтовой насос 39 отключают, закрывают задвижку 43 отвода 42 и кран 22. Включают подогрев реактора 1 с гранулами 48 гидрата метана нагревателем 3 до заданной температуры, при которой в реакторе 1 устанавливается заданное постоянное давление метана (например, 150—200 кгс/см²). С повышением давления свыше допустимого срабатывает предохранительный клапан 23, снижая давление в реакторе 1. При нагреве гидрат метана разлагается на газ и воду. Плотность гидрата метана меньше плотности воды, и гидрат располагается в реакторе 1 на поверхности воды. На трубопроводе 30 (при закрытом кране 32) открывают кран 31 перед ресивером 11. Смесь газообразного метана, гидрата метана и воды из ресивера 1 по трубопроводу 5 направляют под постоянным давлением и расходом через сепаратор 4 в ресивер 11. В сепараторе 4 осуществляют отделение от газообразного метана воды и непрореагировавшего гидрата метана. Через трубопровод 9 непрореагировавший гидрат и воду винтовым насосом 28 через кран 29 направляют обратно в реактор 1. После достижения в ресивере 11 заданного давления открывают

кран 32 подачи сжатого метана потребителям 13 и 21 через фильтр 12.

К потребителю 13 сжатый метан направляют через отводной трубопровод 33 с краном 34. К потребителю 21 сжатый метан направляют через канал 15 горячего теплоносителя теплообменника 14 системы охлаждения газообразного метана, турбодетандер 17, дроссель 19, жидкостный фильтр 20 и отводной трубопровод 35 с краном 36. При работе турбодетандера 17 электрогенератор 18 вырабатывает энергию для питания потребителей установки.

В теплообменнике 14 сжатый метан охлаждается воздухом, отсасываемым из атмосферы через канал 16 и кран 37 вентилятором 10. Дальнейшее охлаждение сжатого метана осуществляется за счет его расширения в турбодетандере 17. После турбодетандера 17 сжатый газообразный метан охлаждается до температуры кипения дросселированием при прохождении через дроссель 19 и содержит после дросселя жидкую фазу. На выходе из дросселя 19 метан в жидкой фазе очищается от примесей в фильтре 20 и по трубопроводу 35 с краном 36 направляется к потребителю 21 сжиженного метана. Для увеличения содержания в метане жидкой фазы необходимо поднимать давление разложения гидрата метана в реакторе 1 выше 200 атм. Это достигается включением в реакторе 1 нагревателя 3.

Так как в гидрате метана содержится 13,1% (масс.) метана и 86,9% (масс.) воды, т. е. на 1 кг метана приходится 6,64 кг воды, то при плотности гидрата метана 900 кг/м³ при атмосферном давлении после полного разложения гидрата метана вода займет примерно 80% объема реактора 1.

Когда весь гидрат метана разложится, давление в реакторе 1 начнет падать. Это является сигналом для включения водяного насоса 7 и выдавливания из реактора 1 свободного газообразного метана с заданными постоянными исходными давлением и расходом. Насос 7 можно включать и сразу с началом расходования гидрата метана и регулировать расход воды насосом 7 в зависимости от расхода газгидрата. В этом случае воду в емкости 2 целесообразно нагревать (44).

Потребляемая насосом 7 электроэнергия при давлениях подачи воды 150—200 атм будет составлять 30—40 кВт на 1 кг/с выделившегося при разложении гидрата метана газообразного метана при условии, что насос 7 будет включаться в работу с момента начала расходования метана. Если насос 7 будет включаться после завершения разложения гидрата метана, то его мощность должна быть примерно 135—180 кВт на 1 кг/с. В обоих случаях расход электроэнергии будет одинаковым.

Потребляемая мощность электрического тока на расход метана 1 м³/с возрастает прямо пропорционально давлению в реакторе 1. Мощность на валу турбодетандера 17, отнесенная к 1 м³/с газообразного метана, возрастает более интенсивно, так как

с ростом давления газообразного метана будут увеличиваться пропорционально давлению расход метана через турбодетандер и перепад давления метана на нем.

Если отбирать сжатый газообразный метан из трубопровода 33, то потребитель 13 может получить метан с давлением 150—200 атм для заправки резервуаров высокого давления. Но в этом случае установка не будет вырабатывать электроэнергию, и для привода ее агрегатов необходим дополнительный источник электроэнергии.

Во время работы реактора к нему должно постоянно подводиться тепло нагревателем 3 для поддержания в реакторе 1 заданного давления смеси (заданной температуры разложения гидрата метана).

Расчеты показывают, что удельная адиабатическая работа расширения газообразного метана, образовавшегося при разложении гидрата метана при температуре 290—292 К, от давления 150—200 атм до 1 атм составляет порядка 450—470 кВт на 1 кг/с метана.

Вырабатываемой турбодетандером 17 электроэнергии будет достаточно для привода насосов, нагревателей, кранов, вентилятора, сепаратора и прочих потребителей электроэнергии установки для получения из гидрата метана сжиженного метана.

После выдавливания из реактора 1 всей смеси сжатого метана, гидрата метана и воды из реактора 1 закрываются краны выхода метана и воды из реактора 1 закрываются краны потребителей 13 и 21. Открывается кран 46 слива воды в емкость 2 из реактора 1 и кран 22 суфлирования полости реактора 1 с атмосферой. Цикл работы установки завершен.

Температура смеси в реакторе 1 в процессе разложения гидрата должна поддерживаться с точностью до десятых долей градуса, так как при изменении температуры на 1°C давление метана в реакторе 1 изменяется примерно на 40 атм.

При непрерывной работе установки, как отмечено выше, используются два реактора и более. Во время работы первого реактора ведется подготовка к работе последующего. Осуществляют продувку реактора холодным воздухом с температурой ниже –30°C, открывают и закрывают необходимые краны, включают привод 40 винтового насоса 39 узла загрузки гидрата из резервуара 38 через вертикальный дополнительный отвод и открытую задвижку для загрузки в реактор гидрата метана. Последующие операции работы второго устройства аналогичны операциям работы первого устройства. Возможно перекрытие конца цикла работы первого устройства и начала цикла работы второго устройства по изменению давления в первом реакторе.

Так как давление насыщенных паров гидрата метана составляет 1 атм уже при температуре –29°C, для диссоциации гидрата метана может использоваться низкотемпературное тепло окружающей сре-

ды (в том числе воды Северного Ледовитого океана) или тепловые отходы различных производств.

При температуре 20°C давление насыщенных паров гидрата метана составляет 300 атм, а при температуре 25°C — 500 атм. Температура водяного пара в конденсаторе конденсационной электростанции составляет 32,5°C. Таким образом, используя, например, бросовое тепло от пара конденсационной электростанции, можно получить в установке из гидрата метана высококачественный газ метан.

Основным преимуществом рассмотренного второго способа получения из гидрата метана свободного метана является возможность использования бросового тепла для разложения газогидрата и получение значительного количества механической энергии от расширения в турбодетандере вырабатываемого метана высокого давления. Но если учесть, что для получения из гидрата метана 1 кг свободного метана нужно затратить на разложение гидрата около 1000 ккал тепла, а это менее 10% ниже удельной теплоты сгорания 1 кг метана, то и при отсутствии низкотемпературного тепла рассмотренный способ получения из гидрата метана свободного метана будет рентабельным.

Литература

1. Макагон Ю. Ф. Газовые гидраты: Предупреждение их образования и использование. — М.: Недра, 1985. — 232 с.
2. Дубовкин Н. Ф., Яновский Л. С., Харин А. А. и др. Топлива для воздушно-реактивных двигателей. — М.: МАТИ, 2001. — 443 с.
3. Новая технология получения природного газа из гидрата метана // <http://www.researchclub.com.ua/journal/297>.