

ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМ

В.Е. Пудакова, В.Г. Афанасенко, А.В. Рубцов

Одной из крупнейших проблем работы газовых месторождений, находящихся в северных широтах, является образование гидратов, которые могут стать причиной закупорки проходных каналов оборудования и выхода из строя всей технологической линии. Гидраты как химические соединения были открыты еще в XIX века, но активную разработку методов борьбы с гидратообразованием начали только в начале XX века после промышленного освоения газовых месторождений. В данной статье представлены общие сведения о газовых гидратах, классификация современных методов предотвращения гидратообразования, а также особенности конструктивного исполнения аппаратного оформления процесса добычи газа.

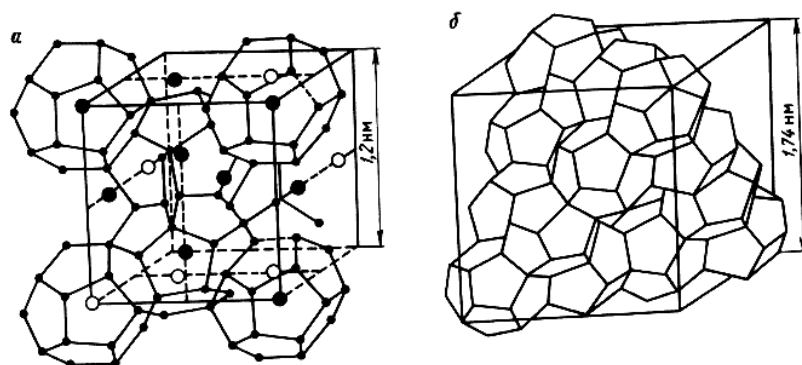
Ключевые слова: гидраты, гидратообразования, ингибиторы, температура, давление, предупреждение гидратообразования, метанол, ликвидация гидратообразования.

Нефтяная и газовая промышленность является неотъемлемой, важной частью в экономике России, и приносит самый большой доход в бюджет страны. Также, в связи с суровым северным климатом, недостаточная изученность крайнего Севера, транспортные проблемы, проблема образования гидратов, добыча полезных ископаемых, нефти и газа становится затрудненным заданием.

Техногенные газовые гидраты могут образовываться в системах добычи газа: в призабойной зоне, в стволах скважин, в шлейфах и внутри промысловых трубопроводах, в системах промысловой и заводской подготовки газа, а также в магистральных газотранспортных системах. В технологических процессах добычи, подготовки и транспорта газа твердые газовые гидраты вызывают серьезные проблемы, связанные с нарушением протекания этих процессов [1-4].

В настоящее время все более пристальное внимание уделяется изучению природных газовых гидратов. В России этим вопросом активно занимаются всего четыре группы: московская, новосибирская, тюменская и санкт-петербургская. Вопрос об освоении газогидратных залежей должен быть рассмотрен в государственном масштабе, так как такие месторождения не единичны, их несколько десятков не только в зоне многолетней мерзлоты, но и в акваториях морей и океанов.

Гидратами называют твердые кристаллические физико-химические соединения, образованные природным газом с водой с общей формулой $M \cdot n H_2O$, где M — молекула гидратообразователя. Исследования газовых гидратов позволяют сформулировать общие закономерности, описывающие своеобразные физические свойства обширной группы соединений, у которых кристаллическая решетка построена из молекул воды, но, тем не менее, заметно отличается от решетки обычного льда (стабильность при температурах $>0^\circ$, наличие полостей строго фиксированного диаметра и т. д.) [6-8].



**Рис. 1. Кристаллическая решетка газового гидрата структуры (I) (а);
кристаллическая решетка газового гидрата структуры (II) (б)**

Всего известно семь типов льдоподобных каркасов из молекул воды, в которых имеются большие полости, однако для нефтегазовой отрасли представляют интерес главным образом две кубические структуры I и II (КСI и КС-II), различающиеся размерами элементарных ячеек, типами и размерами полостей (имеются два типа полостей - малые и большие). Только эти две газогидратные структуры и реализуются в природных газовых и газоконденсатных системах.

Ряд процессов, осуществляемых в нефтедобывающей, газовой и нефтехимической промышленности, сопровождается образованием углеводородных гидратов, забивающих трубопроводы и оборудование. Для предотвращения гидратообразования необходимо знать условия образования гидратов при различных составах газовой фазы, температурах, давлениях и других параметрах, определяющих этот процесс.

Образование гидратов в стволе наблюдается как в газовых, так и нефтяных скважинах. Особенно характерно это явление при освоении и исследовании скважин, а также по другим технологическим причинам и в период их пуска. Наиболее часто гидратообразование имеет место в газовых скважинах на северных месторождениях. Это связано с низкими температурами на устье скважин из-за сравнительно медленного прогрева ствола скважины (имеет место повышенная теплоотдача в около скважинное пространство при наличии зоны ММП-многолетнемерзлые породы) и варьирования дебита в широком диапазоне.

Процесс гидратообразования может происходить как на стенке трубы (с ростом гидратных отложений и образованием пробок), так и в потоке газа. Следует отметить, что процесс отложения гидратов идет достаточно быстро и сплошная пробка может образоваться уже за 5-10 часов после пуска скважины. Особенно быстро образуются гидратные отложения при исследовании скважин на приток по кольцевому пространству [9].

Необходимо отметить, что гидратообразование может проходить и в затрубном пространстве, механизм которого существенно отличается от процесса, протекающего в насосно-компрессорных трубах нефтяной скважины. Причинами различий являются: контакт межтрубного пространства с многолетнемерзлыми породами и наличие линии динамического уровня, которая определяется работой насоса. Линия динамического уровня разделяет заслонное пространство на два участка, на которых условия гидратообразования принципиально различаются. Кроме того, в межтрубном пространстве происходят рециркуляция паров воды и конденсация жидкой углеводородной фазы из газов разгазирования.

Техногенные газовые гидраты в системах добычи, сбора, промысловой подготовки и транспортировки газа являются достаточно типичным технологическим осложнением, особенно для условий северных газовых и газоконденсатных месторождений (особенно Уренгойское, Ямбургское, Заполярное, Медвежье и др.). В связи с этим при эксплуатации месторождений необходимо предусматривать мероприятия по борьбе с гидратами. Образовавшиеся гидраты могут закупорить скважины, газопроводы, сепараторы, нарушить работу измерительных и регулирующих приборов. Очень часто вследствие образования гидратов выходят из строя штуцеры и регуляторы давления, дросселирование газа в которых сопровождается резким понижением температуры. Это нарушает нормальную работу нефтегазового оборудования, особенно при низких температурах окружающей среды.

Борьба с гидратами ведется в двух направлениях:

1. Предупреждение образования гидратов;
2. Ликвидация образовавшихся гидратов.

В обоих случаях необходимые мероприятия должны основываться на тщательном изучении режима температуры, давления, а также состава газа (особенно содержания влаги, конденсата) на всем пути движения его от забоя до выхода с промысла.

Предотвращение гидратообразования в стволах скважин должно осуществляться путем:

1. Выбора соответствующего подземного оборудования скважины и установления оптимального технологического режима работы скважины;
2. Непрерывной или периодической подачи на забой антигидратных ингибиторов;
3. Покрытия внутренней поверхности обсадной колонны и фонтанных труб веществами, которые препятствуют отложению гидратов (эпоксидными смолами, полимерными пленками и т. д.);
4. Систематического удаления с забоя скапливающейся жидкости;
5. Устранения причин, вызывающих пульсацию газа в стволе скважины;
6. Создания теплоизолированных конструкций газовых скважин, т. е. конструкций, имеющих высокое термосопротивление.

Ликвидация гидратных отложений в стволе скважины должна производиться:

1. Продувкой газа в атмосферу с необходимой предварительной выдержкой скважины в закрытом состоянии с целью частичного разложения гидратов теплом окружающих пород;
2. Циркуляцией антигидратного ингибитора (замедлителя) по сифонным трубкам, спускаемым в скважину через сальниковое уплотнение на устье;
3. Промывкой горячим солевым раствором под давлением.

Предупреждение гидратообразования в фонтанной арматуре и обвязке скважин, а также в различных участках, узлах и звеньях системы сбора и транспорта газа может осуществляться при помощи следующих мероприятий, проводимых как в отдельности, так и в комплексе, в зависимости от конкретных условий [10-12]:

1. Обогрева отдельных узлов и участков для повышения температуры газа выше равновесной температуры возможного гидратообразования;
2. Ввода в поток газа антигидратных ингибиторов, снижающих равновесную температуру гидратообразования. В качестве антигидратных ингибиторов могут выступать метанол, гликоли (этиленгликоль, диэтиленгликоль, триэтиленгликоль);
3. Устранения резких перепадов давления (которые вызывают снижение температуры газа и образование гидратов), что достигается путем ликвидации утечек газа через сальники, через неплотности в арматуре и при использовании плавных переходов от одного диаметра к другому;
4. Снижения давления в системе сбора и транспорта газа ниже равновесного давления гидратообразования;
5. Уменьшения степени турбулентности потока газа с целью снижения интенсивности перемешивания газа и жидкости;
6. Систематического удаления жидкости, скапливающейся в пониженных местах системы сбора и транспорта газа, при помощи конденсатосборников или дренажных патрубков (штуцеров).

Для ликвидации образовавшихся гидратных отложений в системе сбора и транспорта газа и в обвязке скважины могут применяться:

1. Более интенсивный непосредственный наружный обогрев мест образования гидратов или подача горячего агента непосредственно на гидратную пробку;
2. Разложение гидратов путем ввода большой порции антигидратного ингибитора;
3. Разрушение гидратной пробки путем резкого одностороннего снижения давления (продувка в атмосферу);
4. Разложение гидратов снижением давления с обеих сторон гидратной пробки с последующей продувкой в атмосферу;
5. Прекращение подачи газа на определенный период времени, достаточный для разложения гидратов теплом окружающего грунта, с последующей продувкой в атмосферу.

Если перепад давления в штуцере вызывает гидратообразование, то это явление должно быть предотвращено одним из следующих методов:

1. Путем обогрева горячей жидкостью узла установки штуцера и выкидной линии от штуцера до конца участка, охлаждающегося в результате перепада давления в штуцере;
2. Применением многоступенчатого штуцирования;
3. Подачей антигидратных ингибиторов в выкидную линию непосредственно перед местом установки штуцера. Подача ингибитора должна осуществляться из сосуда высокого давления, расчетное рабочее давление которого должно быть выше максимального давления в скважине. Расход ингибитора должен автоматически регулироваться при помощи дозировочного насоса высокого давления, регулировочного игольчатого вентиля и соответствующего автомата.

В случае образования гидратов в теплообменниках необходимо повысить температуру охлаждающего газа до величины, превышающей равновесную температуру гидратообразования, или осуществить подачу ингибиторов в линию газа высокого давления.

Применение метанола не всегда оправдано с точки зрения экономической и технологической, безопасности обслуживающего персонала и охраны окружающей среды.

Основное направление совершенствования технологии обработки газа, позволяющее значительно сократить общие объемы потребления реагента и транспортные расходы, повысить экономическую эффективность процессов обработки газа, улучшить экологическую сторону работы газовых промыслов – внедрение установок регенерации насыщенных метанольных растворов, в том числе на газоконденсатных месторождениях.

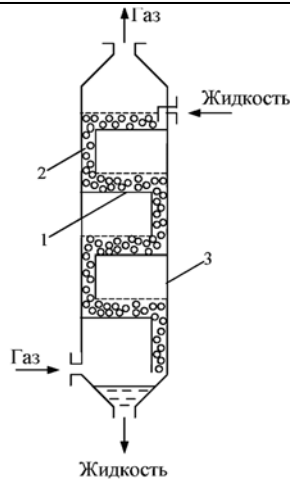


Рис. 2 Принципиальная схема тарельчатой ректификационной колонны

Насадочные колонны широко применяют для процессов абсорбции, очистки, охлаждения и увлажнения газов, иногда ректификации. Контакт газа и жидкости в насадочной колонне, во время которого происходит обмен веществом и теплом между фазами, происходит, в основном, на смоченной поверхности насадки. Поверхность контакта фаз в насадочной колонне, через 26 которой осуществляется массопередача, называют «активной поверхностью насадки». Она может быть, как меньше, так и больше геометрической поверхности насадки, и величина ее зависит от расходов газа и жидкости. При малом расходе жидкости ее может не хватить для смачивания всей поверхности насадки, поэтому расход жидкости («величина орошения») должен обеспечивать полную смачиваемость всей поверхности насадки. Эффективность насадочной колонны зависит от различных факторов: от расходных параметров, физических свойств пара и жидкости и от типа насадки. Кроме того, на эффективность колонны сильное влияние оказывает неравномерность распределения потоков по сечению колонны, которая приводит к избирательному движению пара и жидкости. К достоинствам насадочных колонн относят: • невысокий перепад давления по высоте аппарата; • широкий диапазон устойчивой работы; • высокий КПД.

Общий вес тарельчатой колонны обычно меньше, чем вес насадочной при одинаковой производительности: из-за ограниченной прочности насадки иногда невозможно обойтись только одной колосниковой решеткой, выдерживающей вес всей насадки в высокой колонне. Тарельчатые колонны более пригодны для процессов, сопровождающихся колебаниями температуры относительно окружающей среды, так как периодическое расширение и сжатие корпуса колонны при таких условиях может разрушить насадку.

В качестве типовой установки регенерации метанола методом ректификации рассмотрим схему регенерации водных растворов метанола Мессояхского нефтегазового месторождения.

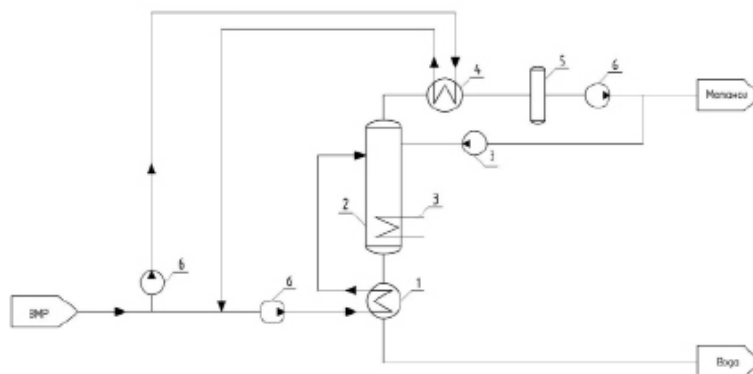


Рис. 3. Технологическая схема установки регенерации метанола Мессояхского месторождения. 1 – теплообменник; 2 – ректификационная колонна; 3 – паровой подогреватель; 4 – конденсатор-холодильник; 5 – промежуточная ёмкость; 6 – насосы

В данной работе были рассмотрены строение, физико-химические свойства, условия образования, методы предотвращения и ликвидации газогидратов в процессе эксплуатации скважин. Также указаны наиболее распространенные ингибиторы гидратообразования, их физико-химические характеристики. На сегодняшний день наиболее эффективным методом борьбы с гидратами является закачка ингибиторов, в частности, метанола. В ряде научно-исследовательских институтов разрабатываются новые, более эффективные и менее токсичные ингибиторы.

В настоящее время все более пристальное внимание уделяется изучению природных газовых гидратов. В России этим вопросом активно занимаются всего четыре группы: московская, новосибирская, тюменская и санкт-петербургская. Вопрос об освоении газогидратных залежей должен быть рассмотрен в государственном масштабе, так как такие месторождения не единичны, их несколько десятков не только в зоне многолетней мерзлоты, но и в акваториях морей и океанов.

Список литературы

1. Макогон Ю.Ф., Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. Изд-во Недра, 1985. 232 с.
2. Истомин В.А., Квон В.Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. 508 с.
3. Дегтярёв Б.В., Борьба с гидратами при эксплуатации газовых скважин в районах Севера (практическое руководство) / Б.В. Дегтярёв, Г.С. Лутошкин, Э. Б. Бухгалтер. М.: Недра, 1969. 120 с.
4. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И., Газовые гидраты. Изд-во Недра, 1980. 296 с.
5. Кузнецов Ф.А. // Газовые гидраты: исторический экскурс, современное состояние, перспективы исследований / В.А. Истомин, Т.В. Родионова – Рос.хим.ж., 2003, т. XLVII, №3. С. 5-18.
6. В.А. Истомин, В.С. Якушев (ВНИИГаз), Исследование газовых гидратов в России - М: Газовая промышленность №05/2002.
7. Гухман Л.М. Подготовка газа северных месторождений к дальнему транспорту. Л.: Недра, 1980. 161с.
8. Истомин В.А. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах сбора и промышленной обработки газа и нефти. М.: ВНИИЭГазпром, 1990. 214 с.
9. Афанасенко В.Г., Кулаков П.А., Боев Е.В., Имаева Э.Ш., Давлетов О.Б., Мазидуллин Д.Н. Оптимизация ультразвукового эмульгирования при механическом перемешивании // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 4. С. 148-155.
10. Квеско Н.Г., Квеско Б.Б. Ингибиторная защита оборудования от гидратообразования на газовых месторождениях Восточной Сибири // Евразийский союз ученых (ЕСУ). 2015. № 8(17). С. 94-97.
11. Шиповалов А.Н., Земенков Ю.Д., Тырылыгин И.В. Проблемы применения технологий предупреждения гидратов в промышленных системах // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии - нефтегазовому региону». Тюмень, 2010. №1. С. 150 – 154.
12. Kulakov P.A., Rubtsov A.V., Afanasenko V.G., Zubkova O.E., Sharipova R.R., Gudnikova A.A. Influence of technical condition parameters on the residual resource of capacitive equipment // Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering - APITECH-2019", 2019. P. 55052.

Пудакова Валерия Евгеньевна, студент, Pudakova.lera@yandex.ru, Россия, Уфа, Институт Нефтегазового Инжиниринга и Цифровых технологий, Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет,

Афанасенко Виталий Геннадьевич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, доцент, afanasenko.v.g.@yandex.ru, Россия, Уфа, Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет,

Рубцов Алексей Вячеславович, канд. техн. наук, доцент, sunset202@mail.ru, Россия, Уфа, Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет

HYDRATE FORMATION IN THE OIL AND GAS INDUSTRY AND METHODS TO COMBAT THIS

V.E. Pudakova, V.G. Afanasenko. A.V. Rubtsov

One of the biggest problems of gas fields, located in the Northern latitudes, is the formation of hydrates, which can cause clogging of equipment bypass channels and the failure of the entire process line. Hydrates as chemical compounds were discovered in the XIX century, but the active development of methods of hydrate formation control began only in the early XX century after the industrial development of gas fields. This article presents general information about gas hydrates, the classification of modern methods of hydrate formation prevention, and also presents the characteristics of constructive design of the hardware design of gas production.

Key words: hydrates, hydrate formation, inhibitors, temperature, pressure, prevention of hydrate formation, methanol, elimination of hydrate formation.

Pudakova Valeria Evgenievna, student, Pudakova.lera@yandex.ru, Russia, Ufa, Institute of Petroleum Engineering and Digital Technologies, Ufa State Petroleum Technical University,

Vitaliy Gennadievich Afanasenko, doctor of technical sciences, head of department, docent, afanasenko.v.g.@yandex.ru, Russia, Ufa, Ufa State Petroleum Technological University,

Rubtsov Aleksey Vyacheslavovich, candidate of technical sciences, docent, sunset202@mail.ru, Russia, Ufa, Ufa State Oil Technical University

УДК 621

ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АМ-ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.О. Чечуга

В работе рассмотрено применение новых технологий в строительстве с использованием АМ-установок. Описан принцип работы строительного 3D-принтера. Представлен процесс возведения стен АМ-установкой.

Ключевые слова: АМ-технологии, АМ-установки, 3D-принтер, композитные материалы.

На сегодняшний день, аддитивное производство нашло применение во множестве сфер: от медицины до строительства. Последнее, в свою очередь, является одним из наиболее перспективных и растущих направлений.

С растущей урбанизацией по всему миру приходит и необходимость в постройке нового жилья и инфраструктуры. Традиционные методы постройки уже не могут покрывать весь спектр поставленных задач.

Основными проблемами традиционных методов являются:

- необходимость поиска и найма квалифицированной рабочей силы высокой и средней численности;
- необходимость наличия и доставки строительной техники;
- необходимость выстраивания сложной логистики и постоянной доставки материалов;
- ограничение производительности погодными, географическими и экономическими условиями.