

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕМ НА ГАЗОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

П.В. Волков, А.Д. Рябов

Научный руководитель - профессор П.Н. Зятиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

Во время добычи или транспортировки природного газа в трубопроводе могут возникнуть определенные термобарические условия, которые приводят к образованию и накоплению гидратов газа. [2]. Необходимо аналитически определить данные условия, чтобы снизить риск возможности образования гидратов. Данный фактор имеет огромное значение, так как присутствие гидратов в системе могут вызвать огромные трудности при транспортировке газа, например, износ оборудования или полное блокирование сечения трубопровода. Отметим главные условия, которые способствуют образованию газовых гидратов:

Во-первых, присутствие в составе смеси свободной воды и молекул газа;

Во-вторых, падение температуры потока ниже температуры образования гидратов для данного газа при соответствующих показаниях давления;

В-третьих, высокие значения давления в трубопроводе, которое также способствует повышению границы температуры начала образования гидратов. [1, 4]. При анализе осложнений, которые могут быть вызваны отложениями гидратов, во время эксплуатации трубопроводов проводят разработку различных мероприятий, прибегая к аналитическим расчетам и программному моделированию.

Численное исследование методов борьбы с гидратообразованием в сечении трубопровода

Для образования гидратов необходимо наличие природного газа с определенными гидратообразующими компонентами и наличием воды в жидком состоянии, а также низкая температура и высокое давление. Поэтому для образования твердых отложений на внутренней стенке трубопровода необходимо, чтобы ее температура T_σ была ниже точки росы для влаги, содержащейся в газе. При заданном составе газа равновесная температура T_s совместного сосуществования твердого газогидрата, газа и воды является функцией давления p . Если выполняется условие $T_\sigma \leq T_s(p)$, то на внутренней поверхности трубопровода будет происходить отложение газового гидрата.

Следовательно, при исключении какого-либо из условий, описанных выше (присутствие свободной воды в жидком состоянии, значение температуры поверхности внутренней полости трубопровода меньше температуры гидратообразования) можно достигнуть режима работы трубопровода, при эксплуатации которого будет исключено образование и отложение на стенках трубопровода гидратов газа. Для применения такого способа борьбы с гидратами создают искусственно условия термодинамической неустойчивости гидратной фазы [3]. Основные этапы метода:

- изменение компонентного состава или удаление из смеси одного из компонентов гидрата;
- установка и поддержание температуры потока выше температуры образования гидратов при постоянном значении давления;
- понижение давления в полости трубопровода ниже условия стабильного существования гидратов при постоянной температуре;
- закачка в трубопровод ингибитора для уменьшения возможности стабильного существования гидратов.

На основе математической модели течения влажного природного газа в горизонтальном канале проведем численное исследование методов создания термодинамической неустойчивости гидратной фазы. В расчетах приняты следующие значения параметров: длина участка трубопровода $L = 10$ км, внутренний радиус $a_0 = 0,11$ м, внешний радиус $a_1 = 0,121$ м (для случая, когда теплоизоляция отсутствует, $a_1 = a_0$), температура грунта $T_G = 279$ К (6°C), массовый расход газа $m = 59$ т/сут = $0,683$ кг/с, влагосодержание $k_{w0} = 3 \cdot 10^{-3}$. На входе трубопровода значения давления и температуры задавались постоянными: $p_0 = 3,2$ МПа, $T_0 = 323$ К (50°C). Для подаваемого из скважины в трубопровод после сепарации газа использованы следующие значения: удельная теплоемкость $c_g = 2170$ Дж/(кг·К), коэффициент динамической вязкости $\mu_g = 9,75 \cdot 10^{-6}$ кг/(м·с), приведенная газовая постоянная $R_g = 489,6$ Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности $l_g = 0,0375$ Вт/(м·К). Эмпирические коэффициенты: $p_{s0} = 3,2$ МПа, $T_{s0} = 282$ К, $T_{h*} = 8,28$; для чистого метана эти коэффициенты соответственно равны: $p_{s0} = 3,2$ МПа, $T_{s0} = 282$ К, $T_{h*} = 8,1$. Другие значения параметров приняты следующие: глубина заложения трубопровода l м, коэффициент теплопроводности гидрата $l_h = 0,5$ Вт/(м·К), плотность $r_h = 930$ кг/м³, коэффициент теплопроводности стенок трубы $l_l = 58,2$ Вт/(м·К), $k_{gh} = 0,14$; теплота гидратообразования $L_h = 5,1 \cdot 10^5$ Дж/кг, коэффициент теплопроводности грунта $l_G = 1,8$ Вт/(м·К), приведенная газовая постоянная для водяного пара $R_v = 461,26$ Дж/(кг·К), теплота перехода в пар $l_w = 2,47 \cdot 10^6$ Дж/кг, эмпирические коэффициенты $p_{w*} = 2,1 \cdot 10^{11}$ и $T_{w*} = 5368$. Для заданного состава газа в трубопроводе значение равновесной температуры гидратообразования составляет $T_s(p) = 282$ К (9°C) и менее.

Осушка газа

Один из лучших способов защиты от гидратообразования – удаление свободной воды из потока газа (осушка газа). Многочисленные исследования показали, что проведение осушки газа то точки росы, исключает способность образовываться гидратным соединениям. Это происходит из-за того, что в смеси отсутствуют водяные пары. Для полного исключения, которое дает возможность образовываться гидратам (наличие жидких капель воды в

газе), необходимо обеспечить на входе в трубопровод степень сухости газа, которое будет удовлетворять следующему аналитическому неравенству [4]:

$$k_{v0} < k_{v\min}, k_{v\min} = \frac{p_{w*} \cdot Z_g \cdot R_g}{p_0 \cdot Z_v \cdot R_v} \exp\left(-\frac{T_{w*}}{T_{\min}}\right)$$

Здесь Z_g и Z_v – коэффициент сжимаемости углеводородного газа и водяного пара, соответственно, T_{\min} – минимальная температура газа в трубопроводе, для ее значения в большинстве случаев можно принять температуру T_G окружающего трубопровод грунта. Как показывают проведенные по этой формуле расчеты, если влагосодержание при принятых в работе параметрах удовлетворяет условию $k_{v\min} < 0,0003$, то точка росы на всем протяжении трубопровода не наступает и поэтому образование газогидратных отложений на внутренних стенках канала не происходит.

Методы предупреждения и ликвидации гидратов на месторождении Узловом

Для борьбы с гидратами в основном применяют методы опережения, то есть предупреждения. Так как в противном случае, ликвидации – есть большой риск возникновения различных осложнений. Например, нарушение нормальной работы промыслового оборудования.

Методы борьбы подразделяются на два направления:

Предупреждение, опережение, изменение условий образования и существования гидратов;

Ликвидация, разрушение образовавшихся и накопившихся гидратов.

Методы, которые применяют для предотвращения образования гидратов в стволе скважины и устьевом оборудовании:

- определенный технологический режим эксплуатации оборудования;

- подача на забойную часть скважины ингибитора (метанола);

- применение в конструкции футерованных труб;

- удаление с забоя скважины аккумулировавшуюся жидкость;

- устранение физических и технических причин, которые вызывают пульсацию газа в скважине.

Очистка ствола скважины от отложений гидратов:

- остановка скважины с целью прогрева полости трубопровода температурой окружающих пород, со следующим резким стравливанием давления, что приводит гидрата газа к нестабильному состоянию;

- прокачка в ствол скважины необходимого количества ингибитора для разрушения гидратных скоплений со следующим резким стравливанием давления и выносом частиц вещества.

Предупреждение образования гидратов в устьевой арматуре скважины, коллекторах сбора и смежной обвязке трубопроводов происходит следующими методами:

- тепловое воздействие на проблемные участки трубопроводов и арматуры;

- введение в систему сбора ингибитора для разрушения гидратов или проведения профилактических мер, направленных на недопущение их накопления;

- технологические решения, которые дают возможность исключить скачки значений рабочего давления, вызывающие изменение температуры газа и, как следствие, конденсацию парообразной влаги;

- циклическое удаление жидкости, которая накопилась на участках коллекторов сбора продукции, смежных участках, переключающей арматуры, с применением конденсатосборников и дренажей.

Заключение

В результате аналитического исследования методов создания термодинамической нестабильности гидратов для борьбы с их образованием в системе, в полости трубопроводов и рабочей арматуре. В частности, осушка газа, изменение давления до более низкого значения, использование изоляционных элементов на стенках трубопроводов или искусственная подача тепла, закачка ингибиторов гидратообразования в поток. Применение теплоизоляционных материалов в совокупности с подведением тепла извне дает возможность снизить риск образования гидратов в околостенном пространстве до минимальных показателей. Доказана практическая эффективность использования ингибитора – метанола для разрушения саккумулировавшихся гидратов газа при определенном и точном расчете его необходимого объема, так как метанол является очень сильным ядом. Объемы его потребления в производстве необходимо снижать. При недостаточном количестве метанола в потоке газа, разрушается только часть гидратной пробки и метод является неэффективным.

Литература

1. Бондарев Э.А., Аргунова К.К. Математические модели образования гидратов в газовых скважинах // Материалы международной конференции «Перспективы освоения газогидратных месторождений». – Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009. – С. 9–11.
2. Истомин В.А., Квон В.Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – 506 с.
3. Shagapov V.Sh., Urazov R.R., Musakaev N.G. Dynamics of formation and dissociation of gas hydrates in pipelines at the various modes of gas transportation // Heat and Mass Transfer. – 2012. – Vol. 48. – №9. – P.1589–1600.
4. Sloan E.D. Natural Gas Clathrate Hydrates. – New York: Marcel Dekker, 1998. – 754 p.