

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ СОЧЕТАНИИ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ГИДРАТАМИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ АЛГОРИТМОВ

Шатров Денис Анатольевич

магистрант, Казанский национальный исследовательский технологический университет, РФ, г. Казань

Аннотация. В статье рассмотрены основные технологические и диагностические методы предупреждения образования газовых гидратов в магистральных газопроводах и технологических трубопроводах компрессорных станций. Представлен сравнительный анализ традиционных и современных подходов, основанных на моделировании термобарических условий. Выделены ключевые факторы, влияющие на эффективность профилактики, а также обозначены ограничения существующих методов и возможности оптимизации работы газотранспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: газовые гидраты, магистральные газопроводы, температура точки росы, диагностика, ингибиторы, гидратообразование.

Введение

По данным на 2023 год в России добывается около 14,4 % мирового объема добычи газа. Газодобыча сейчас демонстрирует высокие темпы роста. По прогнозам к 2030 г. объемы добычи природного газа должны достичь пика.

Около 60% всей добычи газа в РФ приходится на районы Севера, что ставит перед разработчиками определенные сложности, связанные с закупоркой магистральных газопроводов, шлейфов и подземных газохранилищ гидратами при низких температурах воздуха.

Затраты, связанные с предупреждением возникновения гидратов в условиях Крайнего Севера, весьма значительны и достигают 30% себестоимости добываемого газа [1]. Поэтому при предупреждении процесса гидратообразования весьма актуальной становится задача определения оптимального расхода ингибитора, так как его перерасход приводит к неоправданным материальным затратам, а слишком экономный расход может стать причиной серьезной аварии, в следствии этого гидратообразование представляет собой одно из наиболее опасных осложнений, возникающих при транспортировке природного газа в условиях низких температур и повышенного давления.

Условия и механизм образования гидратов

Формирование газовых гидратов возможно при одновременном выполнении трёх условий: наличие влаги (жидкой или в виде насыщенного пара), низкая температура газа (ниже температуры точки росы ТТР) и высокое давление, характерное для магистральных газопроводов.

Особенность процесса заключается в том, что в ряде случаев вода может конденсироваться

прямо в гидратную фазу, минуя жидкое состояние. Это усложняет диагностику и требует точного расчета разницы между температурой точки росы по воде (TTR_v) и по гидратам (TTR_r), особенно при работе с осушенным газом, где TTR_r выше TTR_v на несколько градусов Цельсия [2].

Вода в газопроводе-отводе может появиться по нескольким технологическим причинам: остаться после проведения гидроиспытаний, попасть из магистрального газопровода при пропуске очистного поршня (когда перед поршнем скапливается вода, попадающая в газопровод-отвод в месте врезки) или же сконденсироваться в газопроводе из-за понижения температуры газа ниже TTR_v [3].

Процесс конденсации воды в газопроводе при понижении температуры газа ниже TTR , обусловлен контактом газа с холодными стенками газопровода, а также редуцированием потока газа.

В соответствии с СТО Газпром 2-2.1-249-2008 [4] заглубление трубопроводов до верха трубы при условном диаметре менее 1000 мм надлежит принимать не менее 0,8 м. Во многих случаях заглубление трубопровода фактически и составляет ~0,8 м. При таком заглублении низкая температура стенок газопровода в холодное время года обусловлена промерзанием грунта. До 2000 г. глубина промерзания грунта регламентировалась СНиП 2.01.01-82. В настоящее время этот документ утратил действие, но для ориентировки его показатели можно использовать. Глубина промерзания грунта для большей части территории России составляет 0,8 м и более. Таким образом, в зимний период практически повсеместно температура стенки газопровода имеет отрицательные (по Цельсию) значения. Если по какой-либо причине глубина заложения газопровода окажется меньше проектной, это может создать благоприятные условия для образования гидратов, что обуславливает необходимость контроля глубины залегания газопроводов.

Традиционные методы предупреждения гидратообразования.

К числу классических методов предотвращения образования гидратов относятся подогрев газа с использованием теплообменников и подогревателей, введение в поток газа термодинамических ингибиторов, таких как метанол, диэтиленгликоль или триэтиленгликоль, дегидратация газа в блоках осушки с применением гликолей или цеолитов и снижение давления при возникновении гидратной пробки (метод применим не всегда).

Практический опыт показал, что эффективность этих методов зависит от множества факторов: качества осушки, дозировки ингибиторов, точности контроля параметров газа. Кроме того, применение подогрева связано с высокими эксплуатационными затратами, особенно на объектах, не оборудованных системой теплоизоляции.

Современные подходы: моделирование и диагностика

На исследовании последних лет предлагается использовать инженерную модели оценки риска образования гидратов.

Для выявления условий и области вероятного образования гидратов на конкретном участке магистрального газопровода автором разработан алгоритм, в соответствии с которым:

1. Строится кривая изменения давления по длине участка магистрального газопровода;
2. Строится кривая изменения температуры газа по длине участка магистрального газопровода;
3. При известных значениях содержания влаги в газе при различных давлениях, пользуясь графиком (рисунок. 1), строится кривая изменения точки росы по длине участка магистрального газопровода.
4. По известному составу газа строится кривая изменения температуры начала образования гидратов при различных значениях давления в участке магистрального газопровода.

В результате работы данного алгоритма мы получаем график (рисунок 2) изменения условий образования гидратов на участке магистрального газопровода.

На участке ОА капельной влаги нет, в связи с тем, что точка росы газа ниже его температуры. На участке АБ есть свободная вода, но температура газа выше температуры начала образования гидратов. Следовательно, на участке ОБ гидраты не образуются. Из графика видно, что на участке БВ температура газа ниже температуры начала образования гидратов, поэтому на данном участке шлейфа возможно образование гидратов. От точки В до конца участка магистрального газопровода точки росы газа ниже его фактической температуры, поэтому здесь вода из жидкой фазы вновь переходит в паровую, и условия для образования гидратов отсутствуют.

Наличие участков возможного образования гидратов указывает на необходимость принятия мер по устранению причин и предотвращения гидратообразования.

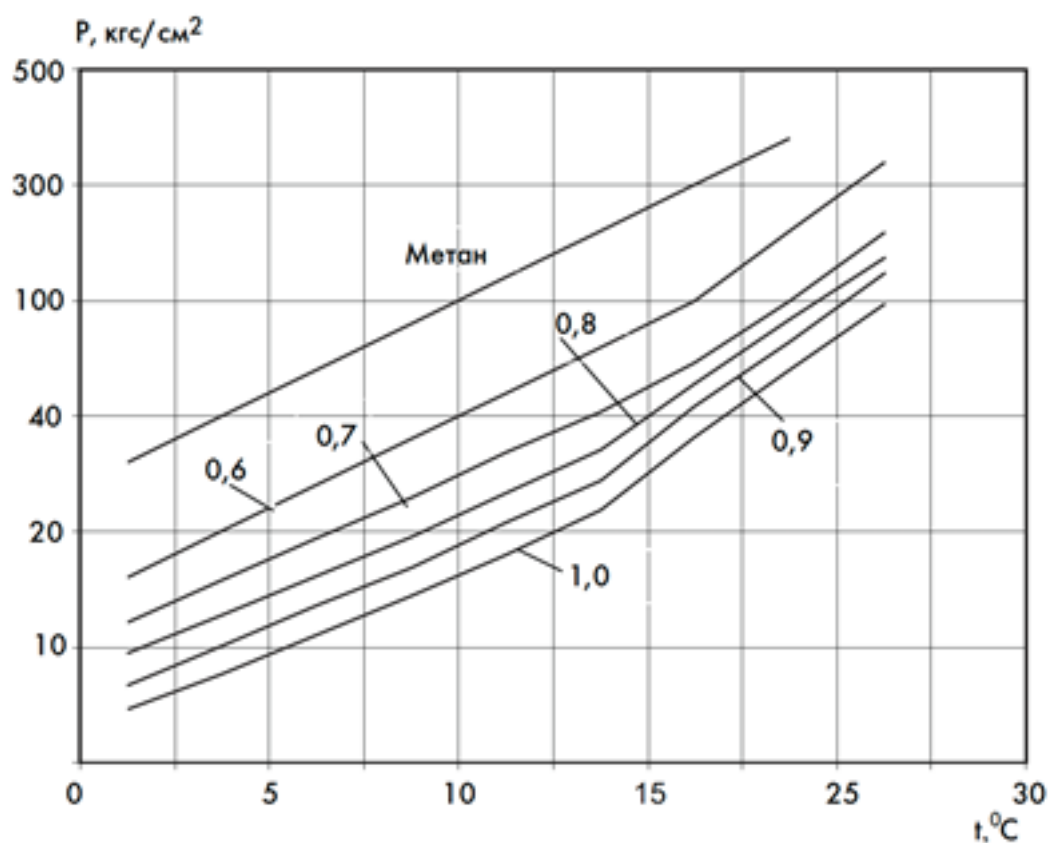


Рисунок 1. Условия образования гидратов для газов различной относительной плотности

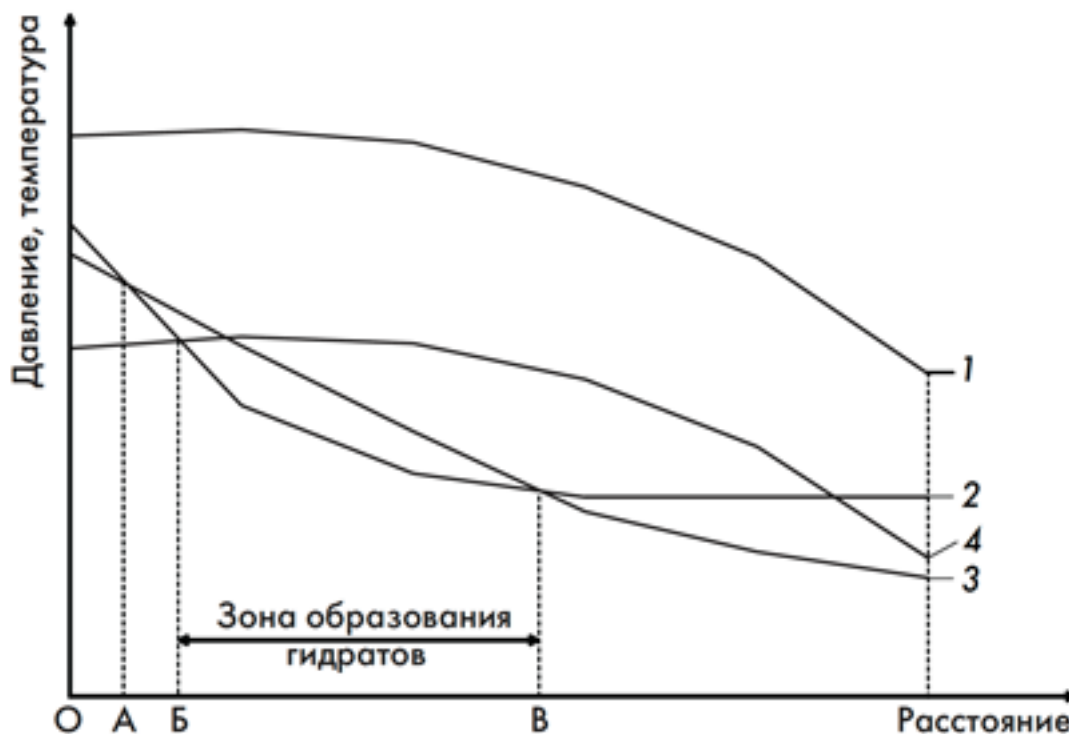


Рисунок 2. Изменение условий гидратообразования по длине участка магистрального газопровода

1 – давления; 2 – температуры газа; 3 – точки росы; 4 – температуры образования гидратов при различных давлениях

Данный комплекс позволяет строить графики изменения температуры, давления, точки росы и температуры начала гидратообразования вдоль всей длины участка магистрального газопровода. Это позволит определить участки с потенциальной опасностью формирования гидратных пробок и заранее принять меры по их предотвращению.

Данный алгоритм разработан на современных языках программирования и позволяет работать на импортозамещённом программном обеспечении.

Формализованная оценка эффективности диагностики включает параметры вероятности образования гидратов, ущерба от инцидента, затрат на диагностику и достоверности выявления опасных участков. Модель позволяет минимизировать общие издержки при высоком уровне надёжности прогноза.

Заключение

Предупреждение гидратообразования в газопроводах требует комплексного подхода, сочетающего технологические, диагностические и проектные решения. Внедрение автоматизированных систем мониторинга, правильное проектирование глубины залегания труб, модернизация участков трубопровода и корректное использование ингибиторов позволяют значительно снизить вероятность образования гидратов и повысить надёжность газотранспортной системы.

Список литературы:

1. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. – М.: Недра, 1974 – 237 с.

2. Истомин В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. – М.: Недра, 1992. – 236 с.
3. СТО Газпром 2-3.5-354-2009. «Порядок проведения испытаний магистральных газопроводов в различных природно-климатических условиях».
4. СТО Газпром 2-2.1-249-2008. «Магистральные газопроводы».