

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НЕХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОЧЕГО ПОТОКА В ТРУБОПРОВОДАХ



Чем более неопределенными становятся перспективы восстановления мировых цен на углеводороды, тем большее внимание добывающий сектор вынужден уделять проблемам сохранения эффективности добычи на уже действующих скважинах и поддержания проектных параметров напорных трубопроводных систем.

Причем с минимальным ростом дополнительных расходов, как капитальных, так и оперативных. В результате вполне закономерно возрастает интерес к сравнительно недорогим, но при этом достаточно надежным методам, гарантирующим бесперебойную эксплуатацию месторождений без существенного увеличения объемов инвестиций.

Как известно, основными врагами поддержания проектной мощности рабочего потока в трубопроводах являются гидраты, парафины и асфальтены, а также песок и другие твердые осадочные породы. Именно они в большинстве случаев являются причинами снижения эффективного диаметра продуктопроводов (вплоть до частичной и полной закупорки его отдельных участков) и ускорения процессов коррозии.

Сила и кумулятивные результаты воздействия этих негативных факторов определяются особенностями разрабатываемого месторождения (резервуара), характеристиками температуры и давления рабочей смеси, а также конфигурациями трубопроводных систем. Исходя из практики наиболее частую угрозу представляет образование комбинированных пробок, которые могут привести даже к полной остановке производственного процесса, причем

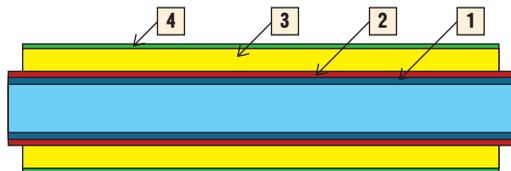
их устранение связано со значительными трудностями и дополнительными расходами.

Знай врага в лицо!

В общем случае условиями, способствующими ускоренному образованию гидратных отложений, являются наличие в рабочем потоке избыточного количества свободной воды и легких газов (например, метана и сероводорода) при относительно низких температурах и высоком давлении. Содержание влаги и газов определяется природными параметрами разрабатываемого резервуара и не может контролироваться оператором, которому для обеспечения оптимального режима работы системы остается манипулировать с температурой и давлением.

Методы обеспечения рабочего потока обычно включают термоизоляцию системы или ее наиболее проблемных участков, впрыскивание ингибитора и превентивное вмешательство (профилактическая очистка). При этом именно нехимический подход (надежная термоизоляция продуктопровода, обеспечивающая поддержание повышенной температуры рабочей жидкости) представляется простейшим и в то же

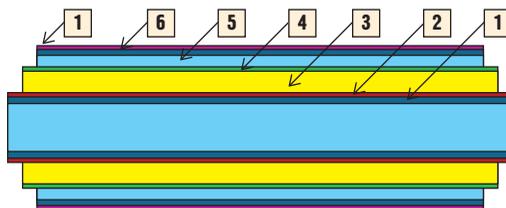
«ВЛАЖНАЯ» СХЕМА ПАССИВНОЙ ТЕРМОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ



- 1 – эксплуатационный напорный трубопровод (стальная труба);
- 2 – антикоррозийное покрытие;
- 3 – изоляционный наполнитель (твердый или пена);
- 4 – твердое покрытие

Источник: INTECSEA

«СУХАЯ» СХЕМА ПАССИВНОЙ ТЕРМОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ, КОМПОНОВКА «ТРУБА В ТРУБЕ» (PIP)



- 1 – эксплуатационный напорный трубопровод (стальная труба);
- 2 – антикоррозийное покрытие;
- 3 – изоляционный наполнитель (твердый или пена);
- 4 – твердое покрытие;
- 5 – воздушный зазор;
- 6 – оболочка (стальная труба)

Источник: INTECSEA

время наиболее эффективным по противодействию нарастанию гидратных отложений.

Что касается осаждения парафинов, то скорость и этого процесса также в значительной степени зависит от температуры потока, которую следует удерживать выше пороговых значений кристаллизации парафинов (wax appearance temperature — WAT), что тоже достигается при помощи различных схем т.н. пассивной термоизоляции. Как и в случае с гидратами, эта мера носит преимущественно предупредительный характер. Оперативные же меры нехимического вмешательства включают механическое удаление уже обнаруженных пробок, а также обеспечение циркуляции подогретого теплоносителя во внешнем контуре на участках повышенного риска их образования (активная термоизоляция).

Сравнительно более рыхлые (хлопьевидные) отложения асфальтенов в большей степени зависят от характеристик месторождений и наличия повышенного содержания легких газов. Однако поддержание оптимального соотношения давления и температуры рабочего потока может существенно замедлить образование асфальтеновых пробок, для устранения которых до последнего времени приходится применять достаточно трудоемкие/дорогостоящие методы механической чистки и впрыскивания химических ингибиторов.

Поскольку именно технологии термической изоляции сегодня предлагают эффективные и при этом сравнительно дешевые нехимические методы обеспечения мощности рабочего потока, стоит рассмотреть особенности их применения более подробно.

Пассивный подход: от воды до пустоты

Современные системы пассивной термоизоляции трубопроводов по своим конструктивным особенностям можно условно разделить на три вида: влажные, сухие и вакуумные.

Влажные системы (характерные, в основном, для разработки шельфовых месторождений) отличаются тем, что изолирующий материал в них прилегает к внешней защитной оболочке, непосредственно контактирующей с агрессивной средой — морской водой и/или породами морского дна (см. «Влажная» схема пассивной термоизоляции...»).

Изоляционный материал, предназначенный для систем подобно рода, должен быть достаточно прочным, чтобы противостоять значительному гидростатическому давлению без существенной (а в идеале — нулевой) потери своих термоизоляционных и механических свойств. На сегодняшний день для реализации «влажных» систем западные добывающие компании используют широкий диапазон изоляционных материала-

лов, рассчитанных на применение при глубинах до 3000 м с коэффициентом теплопроводности в диапазоне 0,5–0,2 БТЕ/(час*фт²*градус Фаренгейта). Их основным преимуществом являются различные виды полиэстера и резины, а также (в меньшей степени) стеклопена, применяемые для усиления теплоизоляционного эффекта на наиболее важных участках.

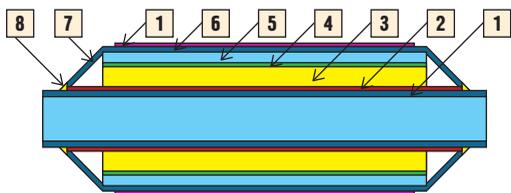
Наибольшую угрозу трубопроводам представляет образование комбинированных пробок, которые могут привести к полной остановке производственного процесса

Сухие изоляционные системы в основном применяются для напорных трубопроводов и буровых стояков. При этом наиболее часто используется компоновочная схема «труба в трубе» (pipe in pipe — PIP), состоящая из внутренней (производственной)

Нехимические методы представляются простыми и в то же время наиболее эффективными по противодействию гидратным и парафиновым отложениям

и наружной (оболочка) труб, промежутки между которыми заполнен изолирующим материалом

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ «СУХОЙ» СХЕМЫ ПАССИВНОЙ ТЕРМОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ, КОМПОНОВКА «ТРУБА В ТРУБЕ» (PIP)



- 1 – эксплуатационный напорный трубопровод (стальная труба);
- 2 – антикоррозийное покрытие;
- 3 – изоляционный наполнитель (твердый или пена);
- 4 – твердое покрытие;
- 5 – воздушный зазор;
- 6 – оболочка (стальная труба)
- 7 – обжим оболочки (штамповка)
- 8 – сварное соединение

Источник: INTECSEA

(см. «Сухая» схема пассивной термоизоляции...»).

Благодаря этим особенностям PIP-размещения в «сухих» системах могут применяться более легкие термоизоляционные материалы — полиуретановые пены,

Оперативные меры включают удаление уже обнаруженных пробок, а также циркуляцию теплоносителя на участках повышенного риска их образования

аэрогели и др. Это делает подобные модели более эффективными, поскольку позволяет добиться значительного уменьшения коэффициента теплопроводности (до 0,1БТЕ/(час*ф²*градус Фаренгейта) и ниже). В настоящее время наиболее широко используются два варианта «сухих» термоизоляционных систем, скомпонованных по схеме PIP.

Технологии активного нагрева на практике часто дополняют пассивные системы термоизоляции

В первом (традиционном) случае внешняя и внутренняя трубы устанавливаются относительно независимо, то есть без дополнительных связей, за исключением переборки, соединяющих их че-

рез определенные промежутки. При этом термоизоляционный материал предварительно размещается на внутренней трубе. Монтаж подобной схемы производится в следующем порядке: сначала приваривается внутренняя труба, затем осуществляется закрытие стыков изоляционного материала, поверх которого «натягивается» и приваривается внешняя труба.

Второй вариант предусматривает, что внешняя труба обжимается и приваривается к внутренней на каждом соединительном узле, при этом термоизоляция может быть как установлена на поверхности внутренней трубы непосредственно перед обжимом, так и закачана в межтрубное пространство уже после сварки (см. «Альтернативный вариант «сухой» схемы пассивной термоизоляции...»).

Важным преимуществом этого варианта является формирование определенной вакуумной подушки между внешней и внутренней трубами, которая усиливает теплоизоляционный эффект. Таким образом, подобная система позволяет достичь меньшего уровня коэффициента теплопроводности или добиться его сопоставимых значений при значительно меньшем диаметре внешней трубы, чем при традиционной PIP-компоновке, что существенно облегчает конструкцию.

Творческим развитием этой технологии является вакуумная термоизоляционная PIP-система, в межтрубном пространстве которой искусственно создается вакуум. Из-за своей высокой стоимости вакуумные системы пас-

сивной термоизоляции применяются сравнительно редко и используются преимущественно для насосно-компрессорных колонн.

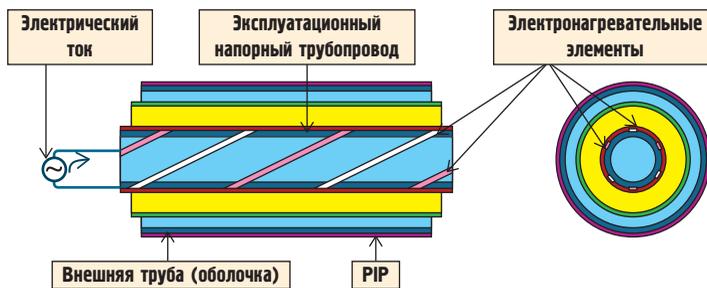
Горячая активность

Технологии активного нагрева являются еще одним важным направлением развития методов поддержания мощности рабочего потока и на практике часто дополняют пассивные системы термоизоляции. В зависимости от конструктивных особенностей и типа теплоносителя различают технологии циркуляции горячего теплоносителя, а также химического и электрического нагрева. В свою очередь, электрический нагрев может осуществляться как по всей трассе трубопровода (контурный), так и на отдельных его участках (прямой).

Циркуляционный метод с использованием жидкого теплоносителя (вода, масло и др.) рассматривается в качестве базового варианта активного нагрева, преимущественно применяемого для обеспечения работы эксплуатационных напорных трубопроводов, в том числе подводных. В последнем случае защитная прикрывающая арматура оболочки должна обладать дополнительной прочностью по сравнению с сухопутными модификациями, чтобы противостоять гидростатическому давлению.

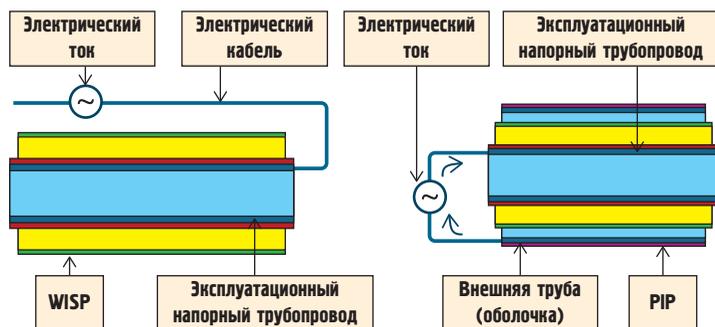
Горячий теплоноситель обычно циркулирует внутри оболочки (кожуха), закрывающей одиночные трубопроводы или (реже) трубопроводные пакеты. Для повыше-

СХЕМА КОНТУРНОГО АКТИВНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА ТРУБНОГО СОЕДИНЕНИЯ (PIP-КОМПОНОВКА)



Источник: INTECSEA

СХЕМА ПРЯМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА ТРУБНОГО СОЕДИНЕНИЯ (WISP- и PIP-КОМПОНОВКИ)



Источник: INTECSEA

ния эффективности работы на внешней поверхности кожуха может устанавливаться дополнительная теплоизоляция. Основным препятствием для широкого применения циркуляционного активного обогрева является сравнительно высокая стоимость и сложность монтажа системы (особенно для пакетов из нескольких трубопроводов). Тем не менее именно данная технология по-прежнему широко используется для «оживления» законсервированных разработок, а также для удаления гидратных и парафиновых пробок.

Электрический нагрев благодаря своей сравнительной простоте и повышенной экономичности в последнее время набирает все большую популярность, особенно для обеспечения мощности рабочего потока в трубопроводах значительной протяженности, а также на труднодоступных участках сложного профиля. Контурный электрический нагрев обычно применяется для трубопроводных систем PIP-конфигурации (см. «Схема контурного активного электрического нагрева...»).

Работа системы обеспечивается посредством электронагревательных элементов, предварительно установленных на внешней поверхности напорного трубопровода (как правило, под теплоизоляционным покрытием). В результате создается возможность использовать дополнительный термоизоляционный эффект компоновочной схемы «труба в трубе» для сохранения тепла, генерируемого нагревательными элементами,

соответственно, снизить расход электроэнергии (по сравнению, например, с прямым электронагревом). При сравнительной экономичности этого метода его недостатком остается относительная сложность установки системы электронагрева по всему контуру трубопровода, требующая значительных затрат времени на предэксплуатационном этапе.

Что же касается прямого активного электрического нагрева, то его действие основано на использовании явления тепловой индукции: нагрев стального трубопровода достигается за счет тепла, которое генерируется в результате пропускания переменного тока по кабелю, образующему замкнутый контур (см. «Схема прямого электрического нагрева...»).

С технической точки зрения этот метод представляется более простым, чем контурный нагрев, что обуславливает значительно меньший уровень капитальных расходов по его реализации и большую востребованность при разработке месторождений в регионах с жесткими условиями окружающей среды (например, в Арктике), а также в шельфовой зоне. К тому же он достаточно универсален и применим для трубопроводов как PIP- так и WISP-компоновки.

К недостаткам метода стоит отнести сравнительно низкую энергоэффективность (значительный расход электроэнергии при достаточно высоких потерях тепла) и фактическую невозможность применения для обеспече-

ния работы трубопроводов из композитных материалов, интерес к которым растет по мере «погружения» планов добывающих компаний на все новые глубины.

Заметим, что арсенал нехимических методов обеспечения мощности рабочего потока на сегодняшний день не ограничивается пассивной и активной термоизоляцией. Например, перспективной разработкой в этом направлении сегодня является технология мультифазной прокачки,

Арсенал нехимических методов обеспечения мощности рабочего потока на сегодняшний день не ограничивается пассивной и активной термоизоляцией

позволяющая гибко реагировать на изменение давления в системе. Благодаря этому можно не только увеличить общую эффективность использования продуктопроводов, но и в значительной степени замедлить образование как «мягких» (гидраты, парафины, асфальтены), так и твердых (песок) отложений на их внутренних поверхностях.

Перспективными представляются технологии мультифазной прокачки, «холодного потока», а также «осушения» рабочего потока напорных трубопроводов

Еще одним примером эффективного нехимического противодействия осадочным явлениям и коррозии может стать технология «холодного потока», обеспечивающая подачу нефти и газа на поверхность в виде гидрированной суспензии. И наконец, существенный интерес (особенно для районов добычи с низкими температурами окружающей среды и шельфовых разработок) представляет технология т.н. «осушения» рабочего потока, позволяющая уменьшать в нем содержание воды, что, в свою очередь, способствует снижению рисков отложения гидратов, образования эмульсий, повышающих коэффициент вязкости и коррозии стенок трубопроводов.