

УДК 624

КОНСТРУКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ

*Докт.-техн. наук., чл.-кор. АИИ РФ Ханухов Х.М., Смирнов С.В.**

ООО «НПК Изотермик»,

**ООО «Объединенная промышленная инициатива»*

Всемирный экономический форум (ВЭФ) в очередном обзоре, посвященном ТЭКу, прогнозирует, что в ближайшие 20-30 лет мировая экономика будет по-прежнему использовать преимущественно топливную инфраструктуру при опережающем росте потребления газа. А «сланцевая революция» предвещает коренным образом изменить баланс мировой торговли энергоресурсами. К 2040 году в структуре производства и потребления энергоресурсов, доля газа, по оценкам Exxon Mobil, может возрасти на 65%. Помимо ТЭК, около половины добываемого газа (бутан, пропан, пропилен, аммиак, этилен, кислород, азот, водород) используется в химии и нефтехимии в качестве сырья, анализ развития этих отраслей дает основание предполагать что рост потребления газа в этой отрасли также произойдет в ближайшие 20 лет. Следует также учесть и тот факт, что СПГ (сжиженный природный газ) лежит в основе разработки альтернативного топлива в ракетно-космической технике, о чем свидетельствуют работы, ведущиеся в России по созданию многоразовых ЖРД на основе смеси СПГ и жидкого кислорода. Реконструкция комплексов для этих целей предполагается в течение ближайших лет.

Наиболее перспективным способом хранения и транспортировки газа является изотермический, при котором газы находятся в жидком состоянии при температуре, соответствующей температуре кипения при атмосферном давлении. Для этого используются изотермические (ИР), как правило, вертикальные цилиндрические резервуары объемом от 700 до 180000 м³. Данный способ хранения и транспортировки является наиболее экономичным (при сжижении объем хранимого продукта уменьшается в 250÷1500 раз и позволяет в 18÷20 раз сократить удельный расход стали на тонну продукта.) и мобильным (отпадает необходимость в трубопроводном транспорте), т.к. в резервуарных конструкциях сжиженный газ может быть доставлен в любую точку земного шара. Рост мировой торговли природным газом будет происходить, в основном, за счет СПГ, транспортировка которого не связана с трубопроводным транспортом.

В настоящее время, морские перевозки относятся к числу наиболее распространенных и экономически выгодных вариантов транспортировки различных видов грузов. Уже сейчас 78 % мирового торгового оборота приходится на морские перевозки. К 2025 г. прогнозируется его повышение до 53 трлн. долл., куда входит и перевозка природного газа. Наиболее эффективная и экономическая перевозка газа – это перевозка последнего в сжиженном состоянии.

Изотермические резервуары - крупные инженерные сооружения диаметром 15...65 м, высотой 18...40 м, объемом от 700 м³...180 тыс. м³, и более, содержащие до 100 тысяч тонн легковоспламеняющихся, горючих, взрывопожароопасных и токсичных жидкостей, представляют особую опасность. К их тепловой изоляции предъявляются повышенные требования, как по промышленной безопасности, так и по эксплуатационным свойствам.

Изотермические резервуары представляют собой одностенные и двустенные технологические ёмкости.

Одностенный изотермический резервуар - вертикальный цилиндрический резервуар с наружной тепловой изоляцией, поверх которой оборудуется металлический защитно – покровный слой, предохраняющий изоляцию от повреждений и проникновения атмосферных осадков.

Двустенный изотермический резервуар представляет собой сооружение, состоящее из двух резервуаров - внутреннего, где непосредственно хранится вещество, и наружного. Внутренний резервуар концентрически расположен относительно наружного. Межстенное пространство между резервуарами заполнено тепловой изоляцией, как правило, из вспученного перлитового песка. В межстенное пространство подается инертный газ для осушки теплоизоляции в процессе эксплуатации.

Так как в конструкциях двустенных изотермических резервуаров обычно используют традиционную тепловую изоляцию, более актуальной задачей является оснащение эффективной теплоизоляцией одностенных резервуаров.

Кроме больших размеров, они могут иметь сферическую форму, что затрудняет проведение работ по монтажу тепловой изоляции.

Следует отметить, что на объектах повышенной опасности запрещается применение горючих изоляционных материалов, которыми в частности являются ячеистые полимерные материалы на основе полиуретана.

Применяемые изоляционные материалы должны обеспечивать заданный температурный режим эксплуатации резервуара, поэтому весьма значимы такие параметры как эффективность изоляционного материала, а также его долговечность, определяющая как долго тепловая изоляция может эксплуатироваться без дорогостоящего капитального ремонта.

Традиционно, в силу отсутствия альтернативных вариантов, тепловая изоляция одностенных изотермических резервуаров производится минеральной ватой или газонаполненными ячеистыми полимерными материалами на основе полиуретана. Все эти материалы в той или иной мере обладают паропроницаемостью, что приводит к увлажнению самой изоляции и изолируемого оборудования за счет конденсации влаги в «точке росы», располагающейся или в толще материала, или на поверхности оборудования. Ячеистые полимерные материалы также обладают и капиллярным впитыванием влаги.

Одной из проблем, с которой сталкиваются при эксплуатации изотермических резервуаров, является увлажнение поверхности резервуара за счет конденсации на его поверхности влаги из воздуха. Образование влажной среды способствует возникновению коррозионных процессов, срок эксплуатации резервуара при этом существенно снижается, и в то же время

увеличивается риск аварий, связанных с уменьшением прочности корродируемого оборудования.

Другой проблемой является потеря теплоизоляционными материалами своих свойств вследствие увлажнения. Пропитанные влагой теплоизоляционные материалы перестают выполнять свою функцию, а при последующем промерзании (рис. 1), их коэффициент теплопроводности стремится к коэффициенту теплопроводности льда, который более чем в 100 раз хуже минимального значения данной величины, принятой для теплоизоляционных материалов. Как правило стоимость выработки одной гигакалории холода в 5-8 раз превышает стоимость выработки гигакалории тепла, соответственно энергетические затраты при эксплуатации изотермических резервуаров с неэффективной тепловой изоляцией могут быть весьма высоки.



Рисунок 1. Фрагмент стены резервуара после 20 лет эксплуатации (ППТУ и FOAMGLAS®).

В результате повышения температуры, хранящиеся в резервуаре вещества начинают переходить из жидкого состояния в газообразное, и через различные предохранительные устройства сбрасываются в атмосферу, что является прямой потерей рабочего продукта.

В большинстве случаев испаряющиеся вещества необходимо сжигать в целях безопасности, поэтому, к примеру, факелы постоянно горящие на производствах аммиака считаются обычным явлением. Потери аммиака на крупном аммиакохранилище могут составлять до нескольких тонн в сутки.

Одним из решений проблем, связанных с потерей традиционно применяемых материалов своих свойств, является применение в качестве изоляции пеностекла – теплоизоляционного материала, обладающего уникальным комплексом свойств, срок службы которого в то же время значительно превышает аналогичные параметры традиционно применяемых утеплителей.

Остановимся более подробно на его свойствах.

Пеностекло торговой марки FOAMGLAS® представляет собой ячеистый материал со структурой пены, получаемый из стекла специального состава методом вспенивания диоксида углерода, образующимся при сгорании тонкодисперсного угольного порошка. Диаметр ячеек (закрытых

газонаполненных пузырьков) составляет всего 0,5-1 мм. Из пеностекла можно изготавливать элементы разнообразных форм, что позволяет изолировать конструкции любых сложных конфигураций (Рис.2).

Пеностекло FOAMGLAS® абсолютно негорючий материал, не выделяющий при нагревании токсичных веществ и дыма, который к тому же не обладает впитывающей способностью, что позволяет применять его на объектах повышенной опасности. Не способствует распространению огня, благодаря чему пеностекло, помимо собственно теплоизоляции, применяется для конструктивной защиты оборудования от воздействия открытого огня в течение расчётного времени, например в качестве противопожарных вставок.



Рисунок 2. Элементы теплоизоляционных конструкций из пеностекла - FOAMGLAS®

Таблица № 1

Основные свойства пеностекла FOAMGLAS®

| | |
|--|---|
| Температура применения, °С | От – 260 до + 430 |
| Предел прочности на сжатие, кг/см ² | От 600 до 1600 (±10%) (в зависимости от марки) |
| Паропроницаемость мг/ (м·ч·Па) | 0 |
| Влагопроницаемость, % от объема | 0 |
| Горючесть | Негорючий материал (НГ) |
| Плотность, кг/м ³ | От 110 до 160 (в зависимости от марки) |
| Коэффициент теплопроводности (для марки Т4+), Вт/(мК) | 25°С – 0,0422 10°С – 0,0413 0°С – 0,0385 -10°С – 0,0370 -30°С – 0,0343 -50°С – 0,0317 -100°С – 0,0259 |

По теплотехническим свойствам пеностекло находится на уровне качественных минеральных ват и иных традиционных теплоизоляционных материалов (табл. 1), а его температурный диапазон применения позволяет использовать его при изоляции как криогенного и низкотемпературного, так и высокотемпературного оборудования.

Пеностекло жесткий материал: значение предела прочности на сжатие составляет до 1600 кг/см². Данное свойство позволяет применять его при изоляции днищ изотермических резервуаров любой емкости, а если учесть, что срок службы пеностекла сравним со сроком службы изолируемого им оборудования, данное конструктивное решение является максимально эффективным. Гарантия изготовителя на пеностекло торговой марки FOAMGLAS® на данный момент составляет 40 лет.

Пеностекло FOAMGLAS® не подвержено воздействию влаги и не снижает своих теплотехнических характеристик в процессе эксплуатации, совместимо с углеродистыми и нержавеющей сталими всех марок, не разрушается и не теряет своих физических свойств под воздействием основных кислот, щелочей, горюче-смазочных материалов и морской воды. Не деформируется (не усыхает и не вспучивается) даже в самых неблагоприятных условиях. Является абсолютно паро- влагонепроницаемым материалом.

В составе теплоизоляционной конструкции образует герметически замкнутый контур вокруг изолируемого им оборудования, и не допускает образования влажной среды, способствующей возникновению коррозионных процессов. Таким образом, помимо решения задачи тепловой изоляции, обеспечивается и защита поверхности изолируемого резервуара от поверхностной коррозии.

Не случайно пеностекло FOAMGLAS® как теплоизоляционный материал и защита от коррозии входит в стандарты ведущих мировых компаний, таких как Statoil, Amec, Shell, NorSok, BP.

С учетом средне и дальнесрочной перспектив эксплуатации, а также уникального комплекса свойств пеностекла, начиная с 70-х годов прошлого века практически все резервуарные парки в Европе изолируются именно этим материалом. А в 76 странах на всех континентах пеностеклом были теплоизолированы более 1000 резервуаров для хранения сжиженных газов промышленного назначения от бутана (-0,5 С°) до азота (-196 С°).

Теплоизоляционная конструкция представляет из себя двухслойную конструкцию из пеностекла. Блоки FOAMGLAS® (Рис.2) наклеены на поверхность резервуара и склеенных друг с другом клеем PC 88.

Защитно – покровный слой выполнен из гофрированного алюминия, с его внешней стороны установлены металлические полосы (Рис.1).

Основными элементами теплоизоляционной конструкции из пеностекла при изоляции резервуаров являются блоки различных размеров (Рис.2), используемые для изоляции их днищ, стенок и крыш. Люки, патрубки и иные конструктивные элементы резервуаров изолируются с помощью специально изготовленных комплектов фасонных элементов (Рис.2). В состав теплоизоляционных конструкций для изоляции резервуаров кроме пеностекла входят различные сопутствующие материалы - мастики, клеи,

герметики и т.д. Необходимость применения того или иного сопутствующего материала определяется в зависимости от назначения, состава и условий эксплуатации теплоизоляционной конструкции.

Одним из последних объектов, на которых в качестве тепловой изоляции применено пеностекло, является изотермический резервуар для хранения аммиака емкостью 30 тыс. тонн в ОАО «Минудобрения», г. Россошь.

Необходимость в проведении замены тепловой изоляции была обусловлена энергетическими потерями и потерями продукта, которые несло предприятие при эксплуатации резервуара в результате промерзания существующего теплоизоляционного слоя. (Рис. 1).

Для создания давления в резервуаре были постоянно задействованы 4 компрессорные установки мощностью 150 кВт каждая, тем не менее происходила потеря продукта: переход аммиака из жидкой фазы в газообразную, испаряющийся аммиак сжигается на факельной установке. Работы были проведены в рекордно короткие сроки - в течении двух месяцев, прошедших с момента слива аммиака до момента ввода резервуара в эксплуатацию, был выполнен полный цикл работ, начиная с демонтажа старой изоляции и заканчивая установкой новой изоляции из пеностекла на стену и крышу резервуара и монтажом металлического защитно-покровного слоя (Рис. 1).

Аналогичный цикл работ при изоляции резервуара путем напыления ППУ занимает в среднем 5-6 месяцев. Значительное сокращение сроков монтажа изоляции резервуара с применением пеностекла FOAMGLAS® позволяет достигать существенного экономического эффекта.

Применение пеностекла при изоляции изотермического резервуара позволило в 3-4 раза уменьшить мощность задействованных компрессорных установок и полностью исключить потери аммиака, связанные с его испарением и последующим сжиганием. Результаты экономической оценки применения пеностекла FOAMGLAS® в сравнении с изоляцией из ППУ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты экономической оценки применения пеностекла FOAMGLAS®

| Показатель | FOAMGLAS® | ППУ |
|--|--|---|
| Потеря продукта в результате перехода аммиака в газообразное состояние, тонн в сутки | 0 | 2,4 |
| Потребляемая энергия компрессорами, кВт/ч | 75 | 600 |
| Стоимость эксплуатации (24 часа), руб. | (75кВт/ч*3руб * 24час) =5 400 | (2,4 тонн*12 500 руб.) + (600кВт/ч * 3руб. * 24час) =73 200 |
| Стоимость эксплуатации (1 год), руб. | 5 400 руб. *365 дней = 1 971 000 | 73 200 руб.*365 дней = 26 718 000 |

Необходимо отметить, что срок выполнения работ по изоляции изотермического резервуара хранения аммиака объемом 30 тыс. тонн (от слива до залива продукта) с применением изделий из пеностекла FOAMGLAS® составляет всего 60 дней, а с применением двухкомпонентного ППУ 180 дней. Упущенная выгода от простоя резервуара в сутки ориентировочно составляет 2 000 000 руб.

Только на стадии выполнения работ по замене тепловой изоляции предприятия могло недополучить 240,0 млн. руб. (120 дней * 2 млн. руб. = 240,0 млн. руб.).

Благодаря своей негорючести, отсутствию впитывающей способности и феноменальной долговечности, пеностекло FOAMGLAS® широко применяется для изоляции резервуаров различного назначения, в частности материал включен в стандарты ОАО «АК «Транснефть» в качестве тепловой изоляции вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Для решения аналогичных задач его применяет ОАО «НК «Роснефть», а также многие крупные предприятия химической и нефтехимической отраслей. С 2004 года пеностекло FOAMGLAS® применяется на объектах ОАО «Газпром», в том числе и при изоляции резервуарных парков, а также включено в его стандарты как теплошумоизоляция оборудования.

Пеностекло FOAMGLAS®, как теплоизоляционный материал, обладает большинством положительных качеств многих современных материалов, при этом лишено их многих отрицательных свойств, что открывает для него широкие перспективы применения не только при изоляции таких сложных объектов как резервуары, но и во многих других отраслях, испытывающих потребность в эффективной и долговечной тепловой изоляции.

Таким образом, FOAMGLAS® можно охарактеризовать как наилучший доступный теплоизоляционный строительный материал.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Ханухов Х.М., Алипов, А.В., Зимина С.В., Симонов И.И. Особенности соблюдения требований промышленной безопасности при проектировании изотермических резервуаров: «Безопасность труда в промышленности» № 12-2011 г., Стр. 57-64.
2. Демидович Б.К. Пеностекло. – Минск.:Наука и техника, 1975, с. 248.
3. Кетов А.А. Пеностекло – незаслуженно забытый материал будущего. Пермские строительные ведомости.1999. № 12. с. 22-24.
4. Кетов А.А. О причинах отсутствия конкурентов у пеностекла на рынке теплоизоляции. Стройкомплексплюс.: Стройкомплекс Среднего Урала. Екатеринбург.2006. № 1. с. 4-11.
5. Материалы сайта www.foamglas.ru
6. Материалы сайта www.o-p-i.ru