

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ВСПЕНЕННОГО КАУЧУКА В КАЧЕСТВЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ.

Тепловая изоляция промышленного оборудования и трубопроводов в теплоэнергетике, химической и нефтегазоперерабатывающей, металлургической, пищевой и других отраслях промышленного производства получила в Украине название промышленной изоляции. Отличительной особенностью промышленной тепловой изоляции является широкий температурный диапазон изолируемых поверхностей и высокий уровень теплового потока через изолированную поверхность, который в 10-15 раз превышает уровень теплового потока через теплоизоляцию жилых, общественных и промышленных зданий.

Современное развитие промышленного производства в различных отраслях народного хозяйства характеризуется все более широким использованием низких температур. Если рассматривать объемы применения изоляционных материалов в зависимости от температуры изолируемых поверхностей (рис. 1), то около 15 % применяемой промышленной изоляции работает при отрицательных температурах от -14°C до -180°C [1].

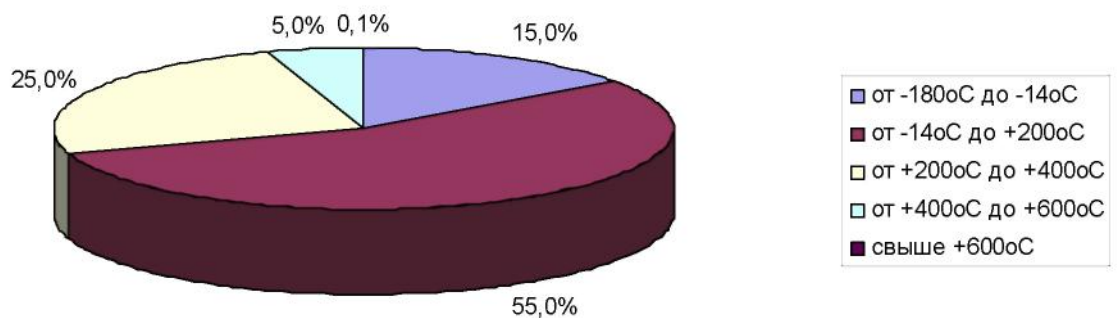


Рисунок 1

К теплоизоляции, работающей при низких температурах, предъявляются повышенные требования. Это связано с тем, что при понижении температур теплоносителя резко возрастает стоимость выработки холода. Так, при снижении температур от 260 до 100 К стоимость выработки холода увеличивается в 20 раз [1]. И если теплоизоляционный материал не будет обеспечивать нормативных холодопотерь в течение достаточно долгого времени, то это повлечет за собой резкое увеличение эксплуатационных затрат. Также от эффективности и долговечности низкотемпературной изоляции, работающей в условиях высоких потоков тепла и подверженной интенсивному увлажнению, напрямую зависит срок безаварийной эксплуатации дорогостоящего холодильного и криогенного оборудования.

Наилучшей эффективностью обладает вакуумная изоляция. Потребность в ней возникла в связи с развитием криогенной промышленности и ракетной техники. Современные средства создания и поддержания глубокого вакуума ($10^{-1} - 10^{-4}$ Па) позволяют иметь для таких систем коэффициент теплопроводности в 1000 раз меньший, чем у изоляции, работающей при атмосферном давлении воздуха [2]. О некоторых разработках в этой об-

ласти можно ознакомиться в [3, 4, 5]. Однако применение вакуумной изоляции ограничено небольшими поверхностями, поскольку получение и сохранение вакуума в больших объемах трудно выполнимо технически и нецелесообразно экономически.

Поэтому теплоизоляция низкотемпературного технологического оборудования с температурами изолируемых поверхностей выше 90 К выполняется с применением обычных теплоизоляционных материалов, работающих при атмосферном давлении, так называемой атмосферной теплоизоляции. Нижний предел применения атмосферной изоляции ограничен температурой конденсации кислорода. Конденсация кислорода из воздуха, находящегося внутри ячеек теплоизоляции, может привести к обогащению изоляции кислородом, что создает опасность образования взрывоопасной смеси.

Уникальность теплотехнических и других свойств атмосферных теплоизоляционных материалов, которые представляют собой газонаполненные системы, связаны с особенностью их строения. Основной морфологической характеристикой теплоизоляции является газоструктурный элемент (ГСЭ), представляющий собой элементарный объем газовой и твердой фаз, образованный совокупностью единичных элементов, который повторяется с определенной периодичностью и высокой степенью упорядоченности во всем объеме газонаполненной системы [6]. Основываясь на этом понятии, известные теплоизоляционные материалы можно разделить на следующие типы [6]:

1. Ячеистые (или вспененные), содержащие изолированные ГСЭ.
2. Пористые, содержащие сообщающиеся ГСЭ.
3. Капиллярные или волокнистые, ГСЭ которых состоят из газовой фазы, заключенной в объем, образованный элементарными нитеобразными структурами, закрепленными механически или с помощью связующего.

В настоящее время для теплоизоляции низкотемпературных объектов в промышленности используются [1]:

1. Пористоволокнистые
 - минераловатные плиты полужесткие на синтетическом связующем;
 - шнуры и маты армированные из супертонкого базальтового волокна;
 - маты из супертонкого стекловолокна без связующего;
2. Пористозернистые
 - песок перлитовый;
3. Ячеистые
 - пенополиуретаны (заливочный, напыляемый, жесткий);
 - пенопласт полистирольный;
 - пеностекло;
 - изделия из вспененного синтетического каучука.

Технические характеристики теплоизоляционных материалов [1, 8, 9], применяемых в низкотемпературных системах, представлены в таблице 1.

Теплотехнические характеристики	Плиты полужесткие на синтетическом связующем	Шнуры и маты из супертонкого базальтового волокна	Маты из супертонкого стеклянного волокна	Песок перлитовый	Изделия из пенополиуретана	Изделия из пенополистирола	Пеностекло	Изделия из вспененного синтетического каучука
1. Плотность, кг/м ³	110-135	25-50	25-50	75-150	40-60	25-40	230	60-95
2. Теплопроводность, Вт/м °С При -60°С При +25°С	- 0,035- 0,049	- 0,035- 0,042	- 0,035	- 0,047- 0,058	- 0,034	- 0,038- 0,041	- 0,090	0,03 0,037
3. Паропроницаемость, мг/мчПа	0,56	-	-	-	0,05	0,05	0,03	0,00012
4. Температура применения, °С	От -180 до +400	От -200 до +700	От -180 до +450	От -200 до +875	От -180 до +130	От -180 до +70	От -180	От -200 до +130
5. Горючесть	НГ	НГ	НГ	НГ	Г, ТГ	Г	НГ	ТГ

Таблица 1

Важнейшей технической характеристикой газонаполненных материалов, определяющей их теплозащитные свойства, является теплопроводность (λ).

Коэффициент теплопроводности газонаполненных материалов складывается из коэффициента теплопроводности твердой фазы ($\lambda_{ТВ}$), газа ($\lambda_{Г}$), конвективной ($\lambda_{К}$) и радиационной ($\lambda_{Р}$) составляющих [11]. Наибольший вклад в теплопередачу вносит газовая фаза, поскольку ее объемное содержание превышает 90% [1].

Анализируя данные таблицы 1, можно отметить, что наименьшей теплопроводностью обладают изделия из пенополиуретана. Теплопроводность минеральной ваты (в сухом состоянии) и пенокаучука выше незначительно – на 3-8 % соответственно. Некоторые производители пенополиуретанов заявляют для своих изделий очень низкие коэффициенты теплопроводности, мотивируя это тем, что для пенообразования используются газы с очень низкими величинами λ . Однако, в результате диффузии вспенивающий газ начинает замещаться на воздух, поэтому на практике коэффициент теплопроводности пенополиуретанов принимают равным не менее 0,035 Вт/мК [1, 2]. Также, основываясь на результатах экспериментальных данных, следует отметить, что при низких температурах (при -100°C) теплопроводность пенокаучука не превышает теплопроводности пенополиуретана [10].

Фундаментальным преимуществом ячеистых теплоизоляционных материалов является изолированность ГСЭ, препятствующая распространению водяного пара в материале. Как видно из таблицы 1, паропроницаемость ячеистых материалов от 10 раз (для пенополиуретанов и пенополистиролов) до 5000 раз (для пенокаучуков) ниже паропроницаемости пористоволокнистых.

В процессе эксплуатации низкотемпературная атмосферная изоляция подвержена прогрессирующему увлажнению водяным паром, диффундирующим в нее из окружающего воздуха. Причем, так как изоляция устанавливается на непроницаемую для пара металлическую поверхность оборудования, то удаление влаги из нее невозможно.

Опыт эксплуатации низкотемпературной изоляции показал, что значительная ее часть находится в неудовлетворительном состоянии, причем за счет чрезмерного увлажнения такая изоляция имеет сверхнормативные потери холода [7], рисунки 2 и 3. Это объясняется тем, что до недавнего времени существовала практика проектирования низкотемпературной изоляции, не учитывающая снижения теплоизоляционных свойств за счет ее увлажнения.



Рисунок 2



Рисунок 3

Анализ экспериментальных данных [1] показывает, что при низкотемпературном применении увлажнение пористоволокнистых материалов в 4-5 раз интенсивнее увлажнения ячеистых материалов. Причем влага, проникающая из окружающей среды в изоляцию в виде пара, переходит (аблимируется) в твердое состояние – иней – минуя жидкую фазу.

В [1] приведены расчетные формулы по определению термического сопротивления изоляции с учетом ее увлажнения. Однако, выполнение расчетов с использованием этих формул является весьма трудоемкой задачей, поэтому там же разработана приближенная методика, дающая хорошую сходимость с экспериментальными данными. Суть этой ме-

тодике заключается в вычислении поправочного коэффициента, равного отношению термического сопротивления R_{τ} теплоизоляции через период эксплуатации τ к термическому сопротивлению в начальный период времени (сухая изоляция) R .

$$\eta = \frac{R_{\tau}}{R}$$

Результаты расчетов поправочных коэффициентов в виде графиков для теплоизоляционных материалов с открытыми и закрытыми порами при эксплуатации в течение 15 лет приведены на рисунке 4.

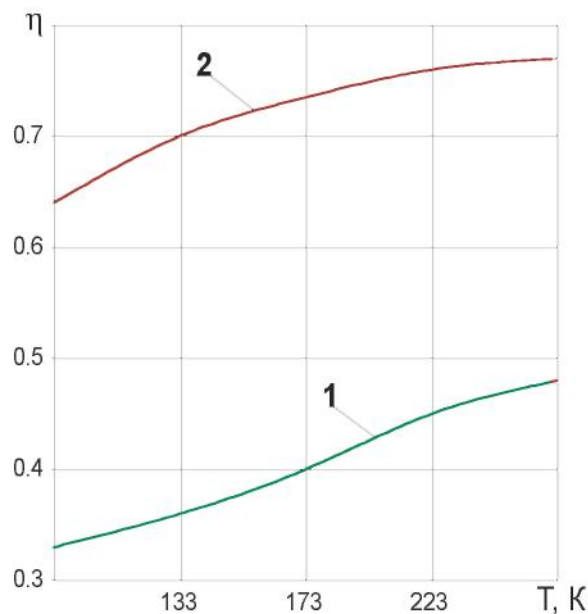


Рисунок 4. Графики для определения коэффициента η на трубопроводах диаметром менее 108 мм при сроке службы 15 лет.

1 - теплоизоляция открытопористыми материалами; 2 - теплоизоляция закрытопористыми материалами.

Анализируя кривые изменения поправочного коэффициента, можно отметить, что при температурах -20°C волокнистые материалы теряют способность сопротивления хладопотерям более чем вдвое, а при температурах до -180°C их применение становится практически нецелесообразным. Закрытопористые материалы при данных условиях эксплуатации обеспечивают сопротивляемость теплопередаче в 1,6-2 раза лучше капиллярно-волоконистых.

Также следует отметить, что скорость увлажнения материала является прямой функцией его паропроницаемости. То есть, чем меньше паропроницаемость теплоизоляции, тем с меньшей интенсивностью происходит конденсация (аблимация) пара в зоне насыщения [1]:

$$q_k = f(\mu_m),$$

Где:

q_k - интенсивность конденсации,

μ_m - коэффициент паропроницаемости.

Если сравнивать закрытопористые материалы, то можно сделать вывод, что скорость увлажнения вспененного каучука в 400 раз ниже скорости увлажнения пенополиуретана и пенополистирола. И если допустить, что критическая влажность пенокаучука равна критической влажности ППУ и ППС, то насыщение пенокаучука аблимиованным паром будет происходить в 400 раз медленнее, что следует из следующей зависимости [1]:

$$\tau_n = \frac{W_{сп} \cdot 10}{q_k}$$

Где:

τ_n – время насыщения зоны абликации,

$W_{кр}$ – критическая влажность материала в % по объему.

Поэтому уменьшение термического сопротивления пенокаучука происходит значительно медленнее, нежели у материалов с большей паропроницаемостью, и при низкотемпературном применении каучуковая теплоизоляция является наиболее эффективным решением с точки зрения сохранения нормативных хладопотерь.

В последнее время изделия из вспененного синтетического каучука пользуются все большей популярностью. Это обусловлено совокупностью причин:

1. Достаточно низкая теплопроводность, обеспечивающая нормативные холодопотери при небольшой толщине.

2. Очень низкий коэффициент паропроницаемости (на два порядка ниже, чем у пенополиуретанов), что обеспечивает высокую долговечность и эффективность работы теплоизоляционного материала, а также позволяет использовать теплоизоляционные конструкции без применения пароизоляционного слоя [12].

3. Нейтральный показатель pH, что в совокупности с низким увлажнением теплоизоляции сводит к нулю риск коррозии изолированного оборудования.

4. Изделия из вспененного синтетического каучука неподвержены уплотнению. Для сравнения, коэффициент уплотнения минераловатных изделий (в особенности из супертонкого волокна) колеблется в пределах от 1,2 до 3 [12]. Теплоизоляция из вспененного каучука не выделяют при эксплуатации пыли и волокон. Поэтому при ее проектировании и использовании внутри помещений допускается не устанавливать покровный слой [12]. По этой же причине не существует ограничений при эксплуатации каучуковой теплоизоляции на объектах с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями к содержанию пыли и волокон в воздухе помещений (пищевая промышленность, чистые комнаты и т.п.) [12].

5. Каучуковая теплоизоляция обладает очень хорошей гибкостью (в западной нормативной документации для идентификации каучуковой теплоизоляции существует даже такой термин, как «flexible elastomeric foam FEF» – гибкая эластомерная пена) а также развитым ассортиментом готовых изделий, в том числе и с покрытиями, в виде теплоизоляционных трубок различных диаметров и толщин, листов и деталей для изоляции фасонных поверхностей.

6. Превосходная адгезия материалов к металлу и к самим себе (в месте склейки швов) при использовании специальных резиновых клеев делают теплоизоляционную конструкцию чрезвычайно прочной и практически герметичной.

7. Простота теплоизоляционной конструкции на основе каучуковой теплоизоляции, в которой, как правило, не присутствуют пароизоляционные и покровные слои, а качестве крепежных элементов используются только контактный клей и удобные самоклеящиеся ленты, а также быстрота и простота приемов монтажа, обусловленные гибкостью материала и наличием широкого ассортимента готовых изделий, делают каучуковую теплоизоляцию на сегодняшний день самым технологичным материалом, применяемым для промышленной теплоизоляции.

Подводя итог, можно сказать, что теплоизоляционные изделия из вспененного синтетического каучука обладают уникальной совокупностью теплофизических, технологических и эксплуатационных свойств. Поэтому мы постараемся в дальнейших публикациях подробнее остановиться на аспектах проектирования, монтажа и эксплуатации данного вида теплоизоляции для низкотемпературного применения.

1. В.В.Гурьев, В.С.Жолудов, В.Г.Петров-Денисов / Теплоизоляция в промышленности. Теория и расчет / М. Стройиздат, 2003.
2. Каммерер И.С. Теплоизоляция в промышленности и строительстве. – М.: Стройиздат, 1965.
3. Стронг Х.М. и др. Вакуумная теплоизоляция для плоских стенок. В сб. «Вопросы глубокого охлаждения». Изд. Иностран. Лит. 1961.
4. Фаломин А.И. Вакуумно-порошковая изоляция для низких температур. В сб. «Вопросы глубокого охлаждения». Изд. Иностран. Лит. 1961.
5. Янкелев Л.Ф. Теплоизоляция оборудования при особо низких температурах. «Монтажные и специальные работы в строительстве», №1, 1963.
6. Берлин А.А., Шутов Ф.А. Химия и технология газонаполненных высокополимеров. – М.: Наука, 1980.
7. Тепло- и массообмен в низкотемпературной атмосферной теплоизоляции / В.Г.Петров-Денисов, Л.А.Масленников, Б.И.Заседателев, М.С.Доннер / Сб.тр. ВНИПИ Теплопроект. – 1975. Вып. 35.
8. Ф.С.Белавин, А.В.Сладков, В.Г.Петров-Денисов. Исследование влагофизических свойств пенополиэтилена. М.: НИИМосстрой. 2002.
9. СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» Строительные нормы и правила. М.: Госстрой СССР, 1986.
10. Rapport d'essai Dossier E013108 – Document CMI/1. LNE. 2004.
11. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. Изд. АН СССР. – 1962.
12. СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» Строительные нормы и правила. М.: Госстрой СССР, 1988.

