

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ПОТЕРЬ ОТ ИСПАРЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ ДЛЯ КРИОГЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Безносов А.А.

Научный руководитель – доцент Н.В. Чухарева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На сегодняшний день сжиженный природный газ является перспективным топливом, как для энергетического сектора, так и для транспортных систем. Индустрия развивается стремительными темпами. На фоне этого происходит интенсивное внедрение более усовершенствованных технологий для сжижения, транспортировки, хранения сжиженного природного газа. Сжиженный природный газ сжимается при минус 162 градусах Цельсия. Данную температуру необходимо поддерживать на всех процессах производства и транспортировки сжиженного природного газа. В связи с этим теплоизоляция трубопроводных систем, а также изотермических резервуаров выполняет важнейшую функцию поддержания температуры. На производственных объектах, находящиеся на территории Российской Федерации криогенные технологические (межцеховые) трубопроводы эксплуатируются при разных температурах окружающей среды. Образование двухфазного потока и испарение сжиженного природного газа являются основными опасными процессами, которые могут возникнуть при эксплуатации криогенных технологических трубопроводов.

Эффективная работа трубопроводных систем сжиженного природного газа зависит по большей части от теплопроводности и надежности тепловой изоляции. Министерство энергетики РФ, одной из главных задач в научно-техническом развитии производства сжиженного природного газа определяет создание криогенных трубопроводов с экранно-вакуумной и порошково-вакуумной изоляцией [3]. Так как экранно-вакуумная и порошково-вакуумная тепловая изоляция на крупнотоннажных объектах производства является импортной, это требует больших денежных вложений. Для определения возможной альтернативной и более экономически выгодной тепловой изоляции была выбрана теплоизоляция на основе аэрогеля.

Цель – оценка эффективности теплоизоляционного покрытия на основе аэрогеля для криогенных технологических трубопроводов.

Задачи:

1. Анализ видов и их характеристик применяемых теплоизоляционных покрытий на основе аэрогеля.
2. Расчет потерь от испарения при использовании теплоизоляционного покрытия на основе аэрогеля.

Обзор основных применяемых на данный момент теплоизоляционных покрытий, а также характеристик осложняющих процессов при эксплуатации криогенных технологических трубопроводов был проведен в работе [1]. Согласно этой работе, было определено, что при использовании экранно-вакуумной тепловой изоляции потери от испарения сжиженного природного газа минимальны. Но также приведен ряд недостатков, связанных с особенностями конструкции и стоимости данных теплоизоляционных покрытий.

Нормативные документы, устанавливающие правила проектирования криогенных (низкотемпературных) трубопроводов в части, связанной с тепловой изоляцией, ссылаются на СП 61.13330.2012 [4]. В данном документе нет требований к материалам на основе аэрогеля, поэтому для определения основных показателей пользуются методиками расчетов [2].

На данный момент на Российском рынке есть теплоизоляционные покрытия на основе аэрогеля, применяемые при строительстве домов, утеплении жилищно-коммунальных объектов, для криогенной техники такие материалы использоваться не могут. В зарубежных странах активно применяют теплоизоляционные материалы на основе аэрогеля для криогенных трубопроводов. Наиболее полную характеристику теплоизоляционным покрытиям дает производящая компания AspenAerogels [5]. На рисунке 1 приведены примеры толщины изоляции и коэффициентов теплопроводности в зависимости от температуры.

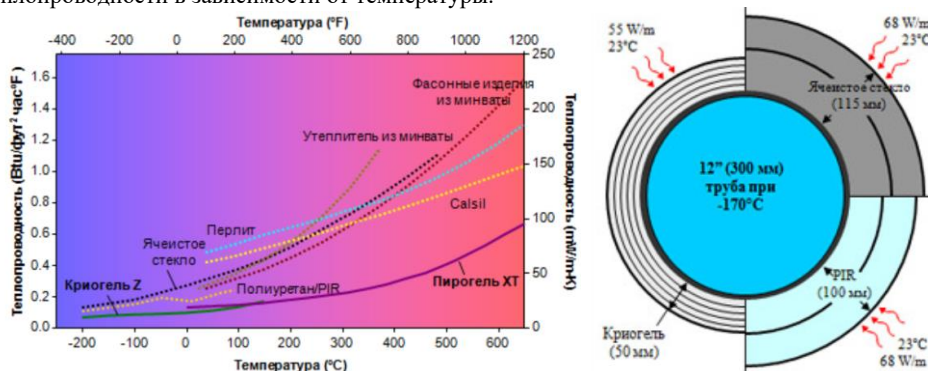


Рис.1 Зависимость коэффициентов теплопроводности от температуры для различных теплоизоляционных покрытий и примеры толщины изоляций для достижения одинокового теплового эффекта

Основные импортеры теплоизоляционных покрытий на основе аэрогеля представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики теплоизоляционных покрытий на основе аэрогеля [5,7]

Компания производитель.	Вид изоляционного покрытия	Состав изоляционного покрытия	Коэффициент теплопроводности λ (Вт/м·К)
AspenAerogels Inc.	Cryogel z	Стекловолоконистый холст с распределенными частицами аэрогеля диоксида кремния (температурный диапазон от -260 до +90 градусов цельсия)	0,012 - 0,009
ООО «Joda»	Joda	На основе аэрогеля SiO ₂ , армированного стеклянным холстом с фольгой (температурный диапазон от -200 до +650 градусов цельсия)	0,013 – 0,019

Обе компании так же предлагают теплоизоляционные покрытия, работающие с более высокими температурами до 1200 градусов цельсия.

Для расчета потерь от испарения, а также определения оптимальной толщины была выбрана теплоизоляция от компании AspenAerogel (Cryogel z). Данные для определения потерь: длина участка трубопровода – 300м, внутренний диаметр – 750мм, коэффициент теплопроводности – 0,01 Вт/м·К, толщина изоляции – 60мм, теплота парообразования криогенной жидкости - 510кДЖ/кг, температура окружающей среды – 23 градуса цельсия.

По методике [2] определение теплопритока через изоляцию для трубопроводов производится аналогично определению теплопритока через цилиндрическую часть изоляции криогенной емкости. С учетом всех упрощений определяем потери от испарения по формуле:

$$\Delta G = \frac{q}{r} = \frac{2\pi\lambda \cdot \Delta T \cdot L}{r(\ln D/d)}$$

где q – тепловой поток через изоляцию; r – теплота парообразования криогенной жидкости; λ – коэффициент теплопроводности; ΔT – общий перепад температур; D – наружный диаметр трубопровода с изоляцией; d – внутренний диаметр трубопровода; L – длина участка трубопровода.

Потери от испарения составили – 0,0864 кг/ч.

Выводы:

1. Допустимым значением испарения сжиженного природного газа на производстве считается 0,15% от общего перекачанного продукта в день. Так как в день объемы перекачки составляют более 100000м³ исходного газа, то значение 2,07кг сжиженного природного газа в день, которому соответствует 2,94м³ исходного газа в день является приемлемой величиной.

2. На образование двухфазного потока в трубопроводе в большей степени влияют перепады давления. Это возможно, если давление в трубопроводе упадет ниже давления насыщения жидкости. В связи с этим возможно допущение использования теплоизоляционных покрытий с не самым низким показателем теплопроводности и более экономически выгодным.

3. Преимущества теплоизоляционных материалов на основе аэрогеля: малый объем, простота конструкции и уменьшенное время монтажа, устойчивость к физическим воздействиям, гидрофобность, экологическая безопасность.

4. Стоимость изоляционных покрытий на основе аэрогеля ниже, чем экранно-вакуумная. Стоимость 1м² изоляции Joda составляет 15-45 долларов США в зависимости от толщины.

5. При разработке отечественных технологий особое внимание стоит уделить теплоизоляционным покрытиям на основе аэрогеля.

Литература

1. Безносов А. А. Влияние тепловой изоляции на испарение сжиженного природного газа транспортируемого по криогенным трубопроводам //Трубопроводный транспорт углеводородов. – 2020. – С. 87-91.
2. Баранов А.Ю., Соколова Е.В. Хранение и транспортировка криогенных жидкостей. Часть 1: Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 95 с.
3. Прогноз НТР отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года / Министерство энергетики РФ.
4. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200091050/> (15.01.2021).
5. AspenAerogels Inc. URL: <https://www.aerogel.com/company/about-aspen-aerogels/> (02.02.2021).
6. Edward L., Filip L. Influence of vacuum level on insulation thermal performance for LNG cryogenic road tankers //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 240. – С. 01019.
7. ООО «Joda». URL: <https://www.joda-tech.ru/> (10.03.2021).