

ПРИМЕНЕНИЕ САМОВАКУУМИРУЕМОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ КРИОГЕННОГО ТРУБОПРОВОДА ЗАПРАВКИ СЖИЖЕННЫМ МЕТАНОМ

И.В. Наумчик¹, М.Д. Маркин¹

Научный руководитель - к.т.н., доцент И.В. Наумчик

1 – Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского»

Введение

Криогенные трубопроводы заправки сжиженным метаном с контуром криостатирования жидким азотом предлагается оснастить самовакуумируемой теплоизоляцией, которая является очень эффективной. В теплоизоляционной полости криогенных трубопроводов будем использовать такой газонаполнитель, как углекислый газ, который при нормальной температуре в порах теплоизоляции поддерживается при атмосферном давлении. Особенностью данного газонаполнителя является то обстоятельство, что после заполнения контура криостатирования криогенного трубопровода жидким азотом углекислый газ будет переходить в кристаллическое состояние на холодной поверхности азотного контура.

Следует отметить следующие достоинства самовакуумируемой теплоизоляции:

– упрощение конструкции криогенного трубопровода за счет отказа от системы вакуумирования;

– значительное улучшение теплозащитных свойств теплоизоляции за счет создания более глубокого вакуума.

Теплозащитные свойства криогенной теплоизоляции характеризуются величиной удельных теплопритоков, величина которых связана с механизмом теплопередачи. При моделировании теплопереноса была использована модель сплошной среды, в которой различные механизмы теплопередачи сведены к эффективной теплопроводности. Показателем качества в данном случае выступает коэффициент эффективной теплопроводности.

В работе представлены сравнительные результаты расчета теплопередачи через слой криогенной теплоизоляции, при этом в качестве газонаполнителей использовали углекислый газ и воздух.

Основная часть

Произведен расчет эффективной теплопроводности порошковой вакуумной теплоизоляции (ПВИ) с учетом структуры ее материала и пористости.

В результате выполненных расчетов выявили следующие качественные и количественные закономерности теплообмена в ПВИ, которые позволили сделать следующие выводы:

1. На эффективную теплопроводность ПВИ теплопроводящие свойства материала частиц оказывает небольшое влияние. Контактная теплопроводность между частицами теплоизоляции при нормальном давлении незначительна, но является определяющей при невысоких температуре и давлении газонаполнителя.

2. На эффективную теплопроводность ПВИ самое большое влияние оказывает теплопроводность газонаполнителя, так при замене воздуха на углекислый газ значение коэффициента эффективной теплопроводности ПВИ уменьшается более чем на 30 %.

3. На эффективную теплопроводность ПВИ конвективная составляющая переноса теплоты в большинстве случаев оказывает незначительное влияние, так как под действием температурного градиента незначительные размеры пор и зазоров на стыке частиц препятствуют возникновению в них конвективных потоков.

4. Влияние создаваемого газонаполнителем давления на эффективную теплопроводность ПВИ отмечено только при определенных значениях числа Кнудсена.

5. Эффективная теплопроводность дисперсного материала ПВИ при достижении рабочего разряжения в значительной степени зависит от теплового излучения.

6. На эффективную теплопроводность ПВИ, которая представляет собой дисперсную систему, оказывает диаметр частиц при повышенных температурах, при этом системы, имеющие больший диаметр частиц имеют большее значение теплопроводности.

Выводы

Оценивание эффективности порошково-вакуумной теплоизоляции на основе аэрогеля с различными газонаполнителями для криогенных трубопроводов заправки сжиженным метаном показала, что толщина теплоизоляции с использованием в качестве газонаполнителя углекислого газа на 15 % меньше, чем с использованием воздуха.

Литература

1. Пеньков М.М., Софьин А.П., Толяренко А.В. Факторы, определяющие изменение свойств тепловых изоляций в ходе эксплуатации криогенных сосудов // Холодильный бизнес, № 3, 2005. – С. 22-24.

2. Лашко Р.О., Пеньков М.М. и др. Методика и результаты экспериментального исследования влияния условий внешней среды на температуру поверхности криогенного трубопровода заправки сжиженным природным газом // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. – 2025. Вып. № 1. – С. 231-237.

3. Безносков А.А. Оценка эффективности теплоизоляционных покрытий на основе аэрогеля для криогенных технологических трубопроводов СПГ // Транспорт и хранение углеводородов. – 2021. – С. 103-104.

4. Иванов Л.В. и др. Сравнение теплоизоляционных систем для СПГ-трубопроводов // Инновационное развитие технологий производства СПГ. – 2019. – С. 42-45.