

УДК 621.643.07

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРИОГЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Чирков М.Э. (Национальный исследовательский университет ИТМО)

Научный руководитель – к.э.н., доцент Миронова Д.Ю.

(Национальный исследовательский университет ИТМО)

**Введение.** Транспортировка сжиженного природного газа (далее – СПГ) в настоящий момент производится с помощью автомобильного, железнодорожного и водного транспорта. Данные методы обладают большими капитальными и эксплуатационными затратами, при этом мировое производство СПГ растет с каждым годом [1].

На сегодняшний день трубопроводная транспортировка СПГ широко не используется по нескольким причинам, одна из которых – СПГ требует особого подхода по поддержанию температуры и давления трубопровода, что создает сложности при создании и выборе изоляционного покрытия [2]. Поэтому выбор материала криогенных трубопроводов для транспорта сжиженного природного газа является актуальной проблемой.

**Основная часть.** Основными материалами, которые используются для изготовления криогенных сооружений, механизмов и машин, являются стали. Согласно [3], наиболее популярными сталями являются хромоникелевые, такие как 12X18H10T и инвар (36НХ). Хромоникелевые стали, несмотря на коррозионную стойкость, пластичность и вязкость, обладают высокой стоимостью из-за дефицитности никеля, поэтому в настоящий момент в качестве конструкционного материала также рассматриваются полимерные материалы (например, сверхвысокомолекулярный полиэтилен), обладающие меньшим весом и стоимостью, стойкостью к химической и электрохимической коррозии. Однако главная проблема при использовании полимерных материалов – их невысокие прочностные относительно сталей характеристики.

Для стальных трубопроводов используется теплоизоляция. Основными видами теплоизоляционного материала являются жесткие материалы (пенополиуретан), вакуумная изоляция и порошковая (перлит, аэрогель) [4]. Для пенополиуретана основными преимуществами являются малый вес, стабильность, прочность и низкая теплопроводность, главный недостаток – наличие пенообразователей, которые могут диффундировать, тем самым меняя тепловые характеристики. Типовая схема изоляции криогенных трубопроводов СПГ твердым материалом: криогенный трубопровод – теплоизоляционные слои пеностекла – слои рулонного стеклопластика – пароизоляционный слой – металлическая оболочка. Аэрогели – средние по эффективности материалы: они превосходят по теплопроводности жесткие материалы, проигрывают вакуумной изоляции, однако их стоимость значительно меньше. Типовая схема изоляции криогенных трубопроводов СПГ на основе аэрогеля: криогенный трубопровод – слой изоляционного покрытия из аэрогеля – защитная оболочка трубы из углеродистой стали – бетонное покрытие [3]. Вакуумная или экранно-вакуумная изоляция представляет собой большое количество экранирующих слоев из тонкого алюминия, которые разделены такими материалами, как полиэстер, нейлон или майлар [2]. Экранно-вакуумная изоляция является самой дорогостоящей, но значительно превосходит по характеристикам остальные виды изоляции.

**Вывод.** Рассмотрены основные материалы, используемые при изготовлении криогенных трубопроводов для транспорта СПГ. Приведены преимущества и недостатки хромоникелевых сталей и полимерных материалов для изготовления труб. Рассмотрены основные виды теплоизоляции стальных криогенных трубопроводов, приведены сильные и слабые стороны каждого способа теплоизоляции.

#### **Список использованных источников:**

1. Рылько Н.М. Анализ технической возможности трубопроводного транспорта СПГ // Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы. – 2022. – №6 (48). – С. 86-89
2. Башарова Л.Р., Дудников Н.Ю. Криогенный трубопровод как перспективная область развития транспорта СПГ // XIX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования». – 2021. – Т. II. – С. 30-32
3. Рахматов С.Ш., Тулибаев А.Н. Конструкция криогенных трубопроводов для транспортировки СПГ // Международная научно-практическая конференция «ГРАНИ НАУКИ 2023». – 2023. – С. 326-341
4. Воронов В.А., Карякина Е.Д., Ахмеров Э.В. Анализ технических решений в области транспорта и хранения сжиженного природного газа // Вестник Международной академии холода. – 2019. - №3. – С. 15-22