

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»
 Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа»

УДК 622.692.4:620.197

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7А	Безносов А.А.		15.06.2021

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Чухарева Н.В.	к.х.н., доцент		15.06.2021

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Клемашева Е.И.	к.э.н.		14.06.2021

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Фех А.И.	—		31.05.2021

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Брусник О.В.	к.п.н.		15.06.2021

Результаты освоения ООП

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Р1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК (У)-1, УК(У)-2, УК(У)-3, УК(У)-6, УК(У)-7, ОПК(У)-1, ОПК(У)-2)</i>
Р2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-4, УК(У)-5, УК(У)-8, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6)</i>
Р3	Осуществлять и корректировать технологические процессы при эксплуатации и обслуживании оборудования нефтегазовых объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-1, ПК(У)-2, ПК(У)-3, ПК(У)-6, ПК(У)-7, ПК(У)-8, ПК(У)-10, ПК(У)-11)</i>
Р4	Выполнять работы по контролю промышленной безопасности при проведении технологических процессов нефтегазового производства и применять принципы рационального использования природных ресурсов, а также защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-4, ПК(У)-5, ПК(У)-9, ПК(У)-12, ПК(У)-13, ПК(У)-14, ПК(У)-15)</i>
Р5	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ПК (У)-23, ПК (У)-24)</i>
Р6	Использовать стандартные	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-2,</i>

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации в области нефтегазового дела	<i>ОПК(У)-3, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-25, ПК(У)-26)</i>
Р7	Применять диагностическое оборудование для проведения технического диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ОПК(У)-5, ПК(У)-9, ПК(У)-14), требования профессионального стандарта 19.016 "Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов".</i>
Р8	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН.	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-9, ПК(У)-11), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".</i>
Р9	Владеть методами и средствами для выполнения работ по техническому обслуживанию, ремонту, диагностическому обследованию оборудования, установок и систем НППС.	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-6, ОПК(У)-7, ПК(У)-4, ПК(У)-7, ПК(У)-13), требования профессионального стандарта 19.055" Специалист по эксплуатации нефтепродуктоперекачивающей станции магистрального трубопровода нефти и нефтепродуктов ".</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП ОНД ИШПР

_____ Брусник О.В.
 (Подпись) _____ (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7А	Безносову Александру Андреевичу

Тема работы:

«Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа»

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№36-80/с от 05.02.2021 г.
---------------------------------------------	---------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Пример 1. Провести конструкционный расчет криогенного трубопровода на прочность, если:

Тип трубопровода: криогенный (низкотемпературный);

Диаметр трубопровода: █████ мм;

Способ прокладки: надземный;

Длина трубопровода L: █████ м;

Продукт перекачки: сжиженный природный газ;

Температура продукта: -████ °С

Пример 2. Произвести расчет толщин нескольких теплоизоляционных покрытий для достижения одинакового теплоизоляционного эффекта допустимого заданным условиям потерь продукта от испарения в день.

Объект исследования: криогенный технологический (межцеховой) трубопровод.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Провести аналитический обзор конструктивных особенностей и материалов криогенных технологических трубопроводов для транспортировки СПГ. Выполнить анализ нормативно-технической документации, в области стационарного хранения и транспортировки СПГ. Произвести литературный обзор, применяемых теплоизоляционных материалов и их характеристик, влияющих на условия перекачки. Проанализировать существующие методики расчета теплопритока через изоляционное покрытие и стенку трубопровода. Выполнить конструкционный расчет согласно нормативно технической документации и расчет необходимых толщин теплоизоляционных покрытий для достижения одинакового теплового эффекта. Определить оптимальное теплоизоляционное покрытие, удовлетворяющее допустимым потерям от испарения сжиженного природного газа.</i></p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>1. Графическая зависимость потерь на испарение от толщины и типа изоляции криогенного технологического трубопровода.</i></p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Клемашева Е.И., доцент ОСГН
«Социальная ответственность»	Фех. А.И., старший преподаватель ООД

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

23.12.2020 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Чухарева Наталья Вячеславовна	к.х.н, доцент		23.12.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7А	Безносков Александр Андреевич		23.12.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7А	Безносову Александру Андреевичу

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 320000 руб., в том числе затраты на оборудование – не более 50000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 16%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценка потенциальных потребителей результатов исследования Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Расчет затрат на основную и дополнительную заработную плату; Расчет внебюджетных отчислений; Расчет материальных затрат; Расчет накладных затрат.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.01.2021
-------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н		25.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7А	Безносов Александр Андреевич		25.01.2021

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7А	Безносов Александр Андреевич

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Нефтегазовое дело
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Тема ВКР:

Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является криогенный технологический трубопровод для транспортировки сжиженного природного газа. Объект является сооружением повышенной опасности, требующий особых условий эксплуатации. Область применения – комплексы по сжижению, хранению и транспортировке СПГ</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<i>– Привести специальные правовые нормы трудового законодательства при работе с криогенными технологическими трубопроводами; – Перечислить необходимые организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>Проанализировать выявленные вредные факторы при разработке проектируемого решения: – отклонение показателей микроклимата в производственном помещении; – повышенная загазованность воздуха рабочей среды; – утечки газа в атмосферу; – повреждения в результате контакта с животными, насекомыми, пресмыкающимися. Проанализировать выявленные опасные факторы при разработке проектируемого решения:</i>

	<ul style="list-style-type: none"> – оборудование и трубопроводы, работающие под давлением; – пожаровзрывоопасность; – пониженная температура поверхностей оборудования; – образование двухфазного потока.
3. Экологическая безопасность:	<p>Проанализировать влияние работ, проводимых в ходе проектируемого решения, на различные компоненты окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на атмосферу; - анализ воздействия объекта на гидросферу; - анализ воздействия объекта на литосферу. <p>Предложить решения по снижению негативного влияния работ на окружающую среду.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Проанализировать возможности возникновения ЧС при эксплуатации криогенных технологических трубопроводов СПГ; – Предложить превентивные меры по предупреждению ЧС, а также действия в результате возникшей ЧС и меры по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

25.01.2021

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна			25.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7А	Безносков Александр Андреевич		25.01.2021

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и
продуктов переработки»
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2020/2021 учебного года)

Форма представления работы:
 бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 15.06.2019г

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.01.2021	<i>Введение</i>	5
24.01.2021	<i>Обзор литературы</i>	10
10.02.2021	<i>Индустрия СПГ. Состояние и перспективы</i>	5
17.02.2021	<i>Особенности транспорта и хранения СПГ</i>	5
01.03.2021	<i>Общая характеристика криогенных технологических трубопроводов</i>	10
15.03.2021	<i>Анализ нормативно-технической документации в области проектирования, сооружения и эксплуатации криогенных технологических трубопроводов и резервуаров СПГ</i>	5
25.03.2021	<i>Патентные исследования в области криогенных трубопроводов СПГ</i>	10
8.04.2021	<i>Обзор методик расчета теплопритока и потерь от испарения СПГ через поверхность криогенного трубопровода</i>	3
21.04.2021	<i>Расчет толщин теплоизоляционных материалов для достижения одинакового теплоизоляционного эффекта</i>	6
12.05.2021	<i>Расчет на прочность криогенных технологических трубопроводов</i>	6
31.05.2021	<i>Социальная ответственность</i>	12
14.06.2021	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	8
10.06.2021	<i>Заключение</i>	5
13.04.2021	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Чухарева Н.В.	к.х.н., доцент		15.06.2021

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Брусник О.В.	к.п.н		15.06.2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 112 с., 19 рис., 33 табл., 116 источников.

Ключевые слова: криогенные технологические трубопроводы, тепловая изоляция, сжиженный природный газ, потери от испарения, тепловой поток через изоляцию.

Объектом исследования является криогенный технологический трубопровод диаметром █████ мм.

Цель работы: разработка технических решений для обеспечения минимальных потерь сжиженного природного газа при транспортировке по криогенным технологическим трубопроводам.

В процессе исследования были проведены: аналитический обзор конструктивных особенностей и материалов криогенных технологических трубопроводов для транспортировки СПГ. Выполнен анализ нормативно-технической документации, в области стационарного хранения и транспортировки СПГ. Произведен литературный обзор, применяемых теплоизоляционных материалов и их характеристик, влияющих на условия перекачки. Проанализированы существующие методики расчета теплопритока через изоляционное покрытие и стенку трубопровода. Выполнен конструкционный расчет согласно нормативно технической документации и расчет необходимых толщин теплоизоляционных покрытий для достижения одинакового теплового эффекта. Определено оптимальное теплоизоляционное покрытие, удовлетворяющее допустимым потерям от испарения сжиженного природного газа.

Область применения: перекачка сжиженного природного газа в криогенных технологических и межцеховых трубопроводах с рабочей температурой от -160 до -165°C.

Практическая значимость работы: расчет толщины изоляционного материала для равнозначного теплоизоляционного эффекта по заданному объему потерь от испарения продукта перекачки в сутки; предложены материалы, которые могут быть технологически и экономически выгодны для изолирования криогенных технологических и межцеховых трубопроводов.

					Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Реферат	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		Безносов А.А.		15.06			1	112
<i>Руковод.</i>		Чухарева Н.В.		15.06				
<i>Консульт.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.		15.06		НИ ТПУ гр. 2Б7А		

ABSTRACT

Graduate qualification work 112 pages, 19 illustration, 33 table, 116 sources.

Keywords: cryogenic process pipelines, thermal insulation, liquefied natural gas, evaporation losses, heat transfer into surface.

The study object is a cryogenic process pipeline with a diameter of mm.

The work purpose: development of technical solutions to ensure minimum losses of liquefied natural gas during transportation via cryogenic process pipelines.

In the course of the study, an analytical review of the design features and materials of cryogenic technological pipelines for LNG transportation was carried out. The analysis of regulatory and technical documentation in the field of stationary storage and transportation of LNG is carried out. A literature review of the thermal insulation materials used and their characteristics affecting the pumping conditions is made. The existing methods of calculating the heat flow through the insulation coating and the pipeline wall are analyzed. The structural calculation was carried out in accordance with the normative and technical documentation and the calculation of the necessary thicknesses of thermal insulation coatings to achieve the same thermal effect. The optimal thermal insulation coating that meets the permissible losses from the evaporation of liquefied natural gas is determined.

Scope of application: pumping of liquefied natural gas in cryogenic process and inter-shop pipelines with an operating temperature from -160 to -165 ° C.

Practical significance of the work: calculation of the thickness of the insulating material for an equivalent thermal insulation effect for a given volume of losses from evaporation of the pumping product per day; materials that can be technologically and economically advantageous for insulating cryogenic technological and inter-shop pipelines are proposed.

					Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Безносов А.А.		15.06	Abstract	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Чухарева Н.В.		15.06			2	112
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б7А		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.		15.06				

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Термины и определения

В данной работе применены следующие термины и определения в соответствии с [27,43,44].

Сжиженный природный газ: Криогенная жидкость без цвета и запаха, состоящая в основном из метана, которая может содержать небольшие количества этана, пропана, бутана, азота и других компонентов, присутствующих в природном газе.

Криогенный (низкотемпературный) трубопровод: Трубопровод с температурой от минус 269 °С до минус 70 °С.

Испарение: Процесс образования пара над жидкостью под воздействием тепла, проникающего сквозь изоляцию и стенку трубопровода.

Коэффициент теплопроводности: Количество теплоты, передаваемое за единицу времени через единицу площади поверхности при температурном градиенте, равном единице.

Паропроницаемость: Способность материала пропускать водяные пары, содержащиеся в воздухе, под действием разности их парциальных давлений на противоположных поверхностях слоя материала.

Плотность теплоизоляционного материала: Величина, определяемая отношением массы материала ко всему занимаемому им объему, включая поры и пустоты.

Природный (горючий) газ: Газообразная смесь, состоящая из метана и более тяжелых углеводородов, азота, диоксида углерода, водяных паров, серосодержащих соединений, инертных газ

					Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Безносов А.А.		15.06	Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Чухарева Н.В.		15.06			3	112
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б7А		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.		15.06				

Теплоизоляция: Общий термин, применяемый для описания процесса уменьшения теплопереноса через систему или для описания изделия, элементов системы, которые выполняют эту функцию.

Теплоизоляционный материал: Материал, предназначенный для уменьшения теплопереноса, теплоизоляционные свойства которого зависят от его химического состава и/или физической структуры.

Теплоизоляционная система: Система, состоящая из двух или более элементов, один из которых является теплоизоляционным материалом или изделием.

Сокращения:

СПГ – сжиженный природный газ;

ТИ – тепловая изоляция;

ТИМ – теплоизоляционные материалы;

ПГ – природный газ.

					Определения обозначения, сокращения, нормативные ссылки	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

Нормативные ссылки

В работе использованы ссылки на следующие нормативно-технические документы:

ГОСТ Р 57431-2017. (ИСО 16903:2015) Газ природный сжиженный. Общие характеристики.

ГОСТ 32388-2013 Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия

ГОСТ Р 56352-2015. Нефтяная и газовая промышленность. Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа. Общие требования безопасности (с Поправкой).

ГОСТ Р 55892-2013. Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Общие технические требования.

СП 326.1311500.2017. «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности».

СП-41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов.

СП-61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003.

ГОСТ 5542–87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия.

ГОСТ Р 56719-2015. Газ горючий природный сжиженный. Отбор проб.

ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть.

ВРД 39-1.10-064-2002. Оборудование для сжиженного природного газа (СПГ). Общие технологические требования при эксплуатации систем хранения, транспортировке и газификации.

Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ

					Определения обозначения, сокращения, нормативные	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Оглавление

Введение	8
1. Индустрия СПГ. Состояние и перспективы	10
2. Особенности транспорта и хранения СПГ	14
2.1 Транспортировка в производственно-сбытовой цепи.....	14
2.2 Морская транспортировка СПГ	15
2.3 Транспортировка СПГ ЖД и автотранспортом.....	20
2.4 Трубопроводная транспортировка СПГ	21
2.5 Хранение СПГ	25
3. Общая характеристика криогенных технологических трубопроводов	32
3.1 Характеристика сталей криогенных технологических трубопроводов.....	32
3.2 Теплоизоляционные покрытия криогенных технологических трубопроводов.....	34
3.3 Особенности конструкции и проектирования криогенных технологических трубопроводов.	44
4. Анализ нормативно-технической документации в области проектирования, сооружения, эксплуатации криогенных технологических трубопроводов и резервуаров СПГ	46
5. Патентные исследования в области криогенных трубопроводов СПГ	52
6. Расчетная часть.....	53
6.1 Обзор методик расчета теплопритока и потерь от испарения СПГ через поверхность криогенного трубопровода	53
6.2 Расчет толщин теплоизоляционных материалов для достижения одинакового теплоизоляционного эффекта.....	57
6.3 Расчет на прочность криогенных технологических трубопроводов	63
7. Социальная ответственность	65
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
7.1.1 Социальные трудовые нормы правового законодательства	65
7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	67
7.2 Производственная безопасность	68

					Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Безносов А.А.		15.06	Оглавление	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Чухарева Н.В.		15.06			6	112
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б7А		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.		15.06				

Введение

Актуальность работы: в настоящее время сжиженный природный газ (СПГ) играет всё более заметную роль на мировом рынке углеводородов. Так как современные технологии сжижения природного газа, основанные на энерго и ресурсоэффективности, предполагают наличие низкого температурного поля то в соответствии с этим для недопущения фазовых переходов необходимо предусматривать эксплуатацию оборудования трубопроводов, характеризующегося термической устойчивостью к криогенным условиям

Это определяет структуру материала трубопровода, применение специальных защитных покрытий. Так же влияет на условия проектирования и эксплуатации.

Объекты трубопроводов СПГ являются не специфичными поэтому все работы связанные с повышением эксплуатации данных объектов являются актуальными, в связи с этим тема выпускной квалификационной работы «Выбор оптимального теплового изоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа» является актуальной.

Цель выпускной квалификационной работы: разработка технических решений для обеспечения минимальных потерь сжиженного природного газа при транспортировке по криогенным технологическим трубопроводам.

Для реализации поставленной цели производственной практики, необходимо выполнить следующие **задачи:**

- *Аналитический обзор конструктивных особенностей и материалов криогенных технологических трубопроводов и хранилищ для сжиженного природного газа;*
- *Определение группы факторов, влияющих на технологии эксплуатации криогенных технологических трубопроводов для перекачки сжиженного природного газа;*

					Введение	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Выбор и обоснование типа теплоизоляционного покрытия криогенного трубопровода;
- Обеспечение прочности, устойчивости и минимального объема потерь СПГ с выбранным теплоизоляционным покрытием.

Ключевые слова: промышленная безопасность, сжиженный природный газ, межцеховые технологические трубопроводы, криогенные трубопроводы, комплекс по производству сжиженного природного газа, СПГ – перспективный энергоноситель.

Объект исследования – технология транспортировки сжиженного природного газа по криогенным технологическим трубопроводам.

Предмет исследования – криогенный технологический трубопровод в составе завода по сжижению сжиженного природного газа, а также межцеховые трубопроводы, предназначенные для транспортировки сжиженного природного газа от завода до терминала загрузки в танкеры.

Практическая значимость – решение задач повышения эффективности компаний производства СПГ.

Область применения: транспортировка СПГ в криогенных технологических трубопроводах с рабочей температурой от минус 160 до 165 °С.

Личный вклад автора – предложена тепловая изоляция, которая может быть применима для криогенных трубопроводов в отечественном производстве.

					Введение	<i>Лист</i>
						9
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Теоретическая часть

1. Индустрия СПГ. Состояние и перспективы

Газовая промышленность в России главным образом обусловлена тем, что основные рынки потребления находятся в большой удаленности от месторождений.

В связи с такой локализацией месторождений, газ в сжиженном состоянии, поставляемый танкерами, становится единственно выгодным продуктом. Строительство трубопровода соответственно экономически и политически не выгодно.

Для России вся индустрия СПГ это развивающаяся отрасль. В мировой практике производство СПГ введено уже достаточно давно. Так как в России большинство запасов газа находится в районах арктического шельфа, внедрение отечественных производств с полным использованием природно-климатических условий является основной задачей.

Для оценки рынка СПГ существует много литературы, например [1-4].

В связи с уменьшением добычи газа из-за экологических изменений и других факторов в странах импортерах предполагается, что рынок СПГ будет расти. Если в 2017 году объем производства составлял 290 млн. т., то в 2025 году он составит 395 – 446 млн. т. В среднем это соответствует 5,5% в год. [4]

К 2035 году объемы СПГ обойдут объемы трубопроводного газа. В связи с этим будут появляться все больше новых мощностей по производству СПГ.

Китай и развивающиеся страны Азии будут основными импортерами, это будет основным драйвером роста показателей. В Китае такой рост обусловлен заморозкой новых теплоэлектростанций, на замену им пришли газовые.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
Разраб.		Безносов А.А.		15.06	Индустрия СПГ. Состояние и перспективы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.		15.06			10	112
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.		15.06				

Трубопроводный газ сохранит свою силу и конкурентность. Основной причиной этому является малая цена на газ по сравнению с СПГ.

Выделяют следующие преимущества СПГ:

- Компактное хранение;
- Высокая энергоемкость;
- Полная автоматизация;

В России по оценкам различных экспертов

Согласно [3] крупнейшие отечественные инвестиционные проекты:

1. Арктик СПГ 1.
2. Арктик СПГ 2.
3. Арктик СПГ 3.
4. Балтийский химический комплекс.
5. Дальневосточный СПГ.
6. Сахалин 2.

Проекты являются уникальными так как разрабатываются совместно с иностранными компаниями и расположение заводов в сверхкритических условиях.

Характеристика приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Основные отечественные инвестиционные СПГ проекты [3]

Название проекта	Операторы проекта	Проектная мощность	Описание проекта и дата реализации
Арктик СПГ 1	Арктик СПГ 1. Учредитель - НОВАТЭК	20 млн. тонн в год	Арктик СПГ 1 – это третий проект НОВАТЭКа по добыче и сжижению газа. Проект планируется реализовать в Тазовском районе ЯНАО. Дата реализации: ввод первой очереди – в 2023 году.
Арктик СПГ 2	Оператор Проекта: Арктик СПГ 2 (Учредители – НОВАТЕК, ДЖЭПЭН)	19,8 млн. тонн в год	Знаковый проект, реализуемый НОВАТЭКом (60%), и консорциумом японских

Окончание таблицы 1

	АРКТИК ЭЛЭНДЖИ БИ.ВИ., КНКНГ ДОН ЛАЙТ ЛИМИТЕД, СЕПР ЛИМИТЕД, ТОТАЛЬ РАЗВЕДКА РАЗРАБОТКА САЛМАНОВ)		компаний Mitsui и JOGMEC (10%). Запуск запланирован на 2023 год, с выходом на полную мощность к 2026 году.
Арктик СПГ 3	Оператор проекта: Арктик СПГ 3 (Учредитель – НОВАТЭК)	-	Арктик СПГ 3 может стать четвертым заводом компании по сжижению природного газа. Ресурсной базой для него могут стать Северо – Обское, Штормовое либо Гыданское месторождения.
Балтийский химический комплекс	Оператор проекта: РусХимАльянс (Учредители – РУСГАЗДОБЫЧА, ГАЗПРОМ ИНВЕСТ РГК)	Мощность: 10 млн тонн в год с возможностью расширения до 15 млн тонн в год	Завод по производству СПГ, а также газохимический комплекс по производству полимеров. Срок планируемого запуска многократно менялся, по последним планам первая очередь заработает в 2024 году, вторая очередь — в 2025 году.
Дальневосточный СПГ	Участники проекта: ExxonMobil (оператор проекта), Роснефть, ONGC Videsh, SODECO.	Мощность: 6,2 млн тонн в год	Изначально планировалось, что строительство будет завершено к 2027 году, однако пандемия внесла корректировки, и на данный момент сроки завершения строительства не уточняются. Ресурсной базой завода является месторождения проекта Сахалин-1.
Сахалин 2	Оператор проекта: Sakhalin Energy Investment Company (Акционеры - Газпром, Shell, Mitsui, Mitsubishi)	Мощность: увеличение мощности действующего завода до 16,2 млн тонн	Первый в России завод по производству СПГ начал свою работу в 2009 году. Проектная производительность двух технологических линий завода — 9,6 млн тонн СПГ в год. Запланировано расширение проекта Сахалин-2 на еще одну производственную линию. Это позволит увеличить мощность завода в 1,5 раза — до 16,2 млн тонн.

Описание технологических процессов, транспортировки, хранения и т.д. представлена работами Е.Б. Федоровой, Б.Ю. Рачевского. [5] Описание нормативно технической базы изложено в работах Г.Ю. Чуркина, А.А. Лесконог [7].

					Индустрия СПГ. Состояние и перспективы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Основной задачей для отечественных производителей является импортозамещение собственными технологиями всех технологических процессов производства СПГ. Согласно Министерству энергетики России, отечественный технологический задел произойдет в следующие пять – семь лет.

					Индустрия СПГ. Состояние и перспективы	Лист
						13
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

2. Особенности транспорта и хранения сжиженного природного газа

2.1 Транспортировка в производственно-сбытовой цепи СПГ

Важнейшими аспектами в цепи всех технологических процессов по реализации СПГ от производителя к потребителю является транспортировка по криогенным технологическим трубопроводам от заводов по сжижению до резервуаров хранения, транспортировка по криогенным технологическим трубопроводам от резервуаров хранения до заправки в танкер, перевозка СПГ на значительные расстояния, отгрузка СПГ по криогенным технологическим трубопроводам в терминалы по хранению и регазификации.

Распределение затрат на трубопроводы приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – затраты в производственно-сбытовой цепи СПГ [21]

Это обусловлено тем, что на каждом процессе возможны большие потери продукта от испарения, а также образование двухфазных потоков, которые в свою очередь могут быть причинами аварий и других опасных производственных факторов.

На основе литературного обзора представлена полная цепь реализации СПГ (рисунок 2).



Рисунок 2 – Цепь реализации СПГ от добычи до поставки потребителям

					Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Безносов А.А.		15.06	Особенности транспорта и хранения сжиженного природного газа	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.		15.06			14	112
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.		15.06				

Газ, который поступает с объектов добычи состоит из метана, этана, пропана, бутана, сероводорода, механических примесей и других примесей очищается до нормируемых параметров. Нормативно-технический документ по техническим нормам сжиженного природного газа «ГОСТ Р 56021 – 2014» [19].

Используемая техника на заводах чаще работает на СПГ, что позволяет экономить топливо и соответствовать экологическим нормам. Также использование природного газа на обеспечение электрической энергией всего производства аналогично снижается все возможные затраты. Газ на собственные нужды подготавливается до топливных характеристик. Нормативный документ для топливного газа «ГОСТ 27577 – 2000» [20].

В современной научной литературе используют три термина определяющих мощности заводов по производству СПГ. Малотоннажное, среднетоннажное и крупнотоннажное производство. Но в Российской нормативно-технической документации нет понятия среднетоннажного производства. Поэтому разделяют две группы: первая – малотоннажное производство, и вторая – средне и крупнотоннажное производство. В [10] есть основные показатели для каждой группы.

В ГОСТ Р 55892 – 2013 [22] для малотоннажного производства содержится значение объемов производства СПГ в год – 82 тыс. тонн/год.

Крупнотоннажные производства нормируются ГОСТ Р 65352 – 2015 [23], ФНП СПГ, СП 240.1311500.2015 [24].

2.2 Морская транспортировка СПГ

Возможность транспортировки сжиженного природного газа от заводов изготовителей до потребителя осуществима только с помощью танкеров – газовозов. Транспортировка с применением автоцистерн, железнодорожных цистерн применяется на малотоннажных проектах. Для крупнотоннажных производств это является не рентабельным видом транспортировки.

					Особенности транспорта и хранения сжиженного	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Важнейшее звено в транспортировке СПГ это морские перевозки. Суда для транспортировки СПГ одни из самых дорогих вложений в цепи СПГ. Примерная стоимость одного крупного танкера от 210 до 285 млн. долларов США. [8] В связи с этим на данный момент стоимость СПГ выше, чем стоимость трубопроводного природного газа.

Рост объема СПГ иллюстрирует ожидания судовладельцев. На 2020 год было запланировано поставить 43 судна, что привело к увеличению мирового флота на 7,9%. В 2019 году global LNG vessel orderbook насчитал 126 танкеров, что составило увеличение от текущего флота на 23,3 % [9].

Танкеры для сжиженного газа проектируются с учетом требований безопасности. Они должны соответствовать жестким международным стандартам и стандартам береговой охраны. Это высокотехнологичные суда, использующие специальные материалы и конструкции для безопасного обращения СПГ. Большинство судов имеют два корпуса, фактически двойной корабль, который защищает груз в случае столкновения, заземления или террористического акта. Еще до начала строительства корабля правительственные эксперты по безопасности изучают планы. Суда проверяются во время строительства и периодически проверяются после завершения строительства. Международные правила береговой охраны охватывают практически все аспекты безопасности этих судов, а также стандарты подготовки экипажей [11].

Танкеры для СПГ подразделяются на 2 основных вида, с мембранными танками и независимыми танками (таблица 2). Мировой флот основан по большей части на танкерах мембранного типа. Они составляют около 75 % мировых перевозок.

					Особенности транспорта и хранения сжиженного	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 3 – Схема классификации СПГ танкеров в зависимости от конструкции танка [10-13]



Рисунок 4,5– Танкеры СПГ с мембранными и сферическими танками [12]

Сферические танки. Согласно [10] изготовление сферических танков производится с использованием листов из алюминиевых сплавов, а также с использованием никелевой стали толщиной от 40 до 80 мм. Данные танки имеют рабочее давление 22 кПа, которое может быть увеличено в случае необходимости [12].

В связи с дешевым производством данных танков по сравнению с другими видами, их использование является рентабельным. Также к достоинствам сферических танков можно отнести высокую степень загрузки.

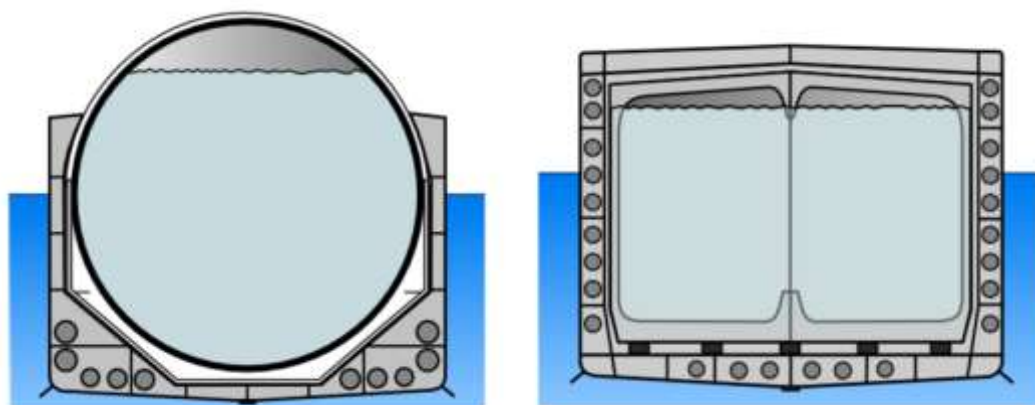


Рисунок 6 – Сферическая и призматическая конструкция танка [12]

Призматические танки. Согласно [12], танки системы ИИ - SPB выполняются из никелевой стали (преимущественно 9%) или из алюминиевых сплавов. Тепловая изоляция из пенополиуретана, прикрепляется к оболочке танка. Изоляционное покрытие состоит из нескольких панелей.

Внутренняя конструкция состоит из 4х отсеков. Такая конструкция позволяет избежать волновых ударов от всплеска жидкого газа, при качке судна.

Также, как и сферические, призматические танки заполняются полностью.

Танкеры с призматической конструкцией являются относительно дорогими на фоне других, поэтому в мировом флоте они встречаются редко.

Это главный недостаток, который не покрывает все преимущества данных танков.

Танки призматической системы ADBT имеют конструкцию с полуоткрытыми отсеками.

Мембранные танки. Главным представителем данного типа танкеров является MOZAN (рис.3). Существующие две конструкции разработаны французскими компаниями Gaz Transport и Technigaz. Танки конструируются из никелевых сплавов с 36% содержанием никеля, сплав также называется «Инвар». Конструкция танка состоит из тонкого слоя никелевого сплава (первичный барьер), изоляции, вторичного мембранного барьера и изоляции в виде слоистой конструкции [13]. Конструкция является более легкой по сравнению с независимыми танками. Используемая мембрана из Инвара составляет в толщину всего 0,5 – 0,7 мм.

На основании литературного обзора [10-13], составлена таблица достоинств и недостатков применяемых в настоящее время танкеров для транспортировки СПГ.

Таблица 2 – Достоинства и недостатки танкеров СПГ

Тип танкера	Достоинства	Недостатки
Танкер с сферической конструкцией танка Moss Rosenberg	Относительная дешевизна производства. Срок строительства значительно меньше срока строительства остальных танкеров.	Имеет большие габариты по высоте и ширине. Вмещает только фиксированный объем продукта.
Танкер с призматической конструкцией танка IHI – SPB	Особенность конструирования танка с отсеками позволяет избежать ударов и проблем, связанных с плесканием криогенной жидкости	Из – за внутренних выбросов оборудования есть возможность повреждения отдельных частей.
Танкер с мембранной конструкцией танка NO 96	Оснащаются судовой регазификационной установкой. Испарение контролируется специальными методами, применяемыми на танкерах СНГ, что позволит избежать потерь в рейсе	Недостатком системы является множество перемычек и трудность при зачистке танков, расположенных в корму от насосного помещения, при дифференте танкера на корму

На данный момент имеется много разработок по улучшению и введению новых экспериментальных танкеров СПГ и с каждым годом их становится все больше.

2.3 Транспортировка СПГ ЖД и автотранспортом

Автомобильные перевозки сжиженного природного газа занимают небольшой процент от общих поставок на внутреннем рынке. В первую очередь он используется на малотоннажных объектах, с целью газификации труднодоступных районов. Также поставляется на автозаправочные станции. СПГ как топливо используется грузоперевозчиками и уже показал свою эффективность в этой сфере. Еще одной из причин роста транспортировки СПГ ЖД и автотранспортом является заморозка крупных проектов, проектируемых с целью крупнотоннажного экспорта.

В ряде исследований по сравнению стоимости малотоннажного СПГ и трубопроводного газа выделяются преимущества первого. Это является двигателем спроса на ЖД и автоцистерны.

По мере роста производства автоцистерн, установились нормированные данные рабочего давления, составляет $4,9 \text{ кг/см}^2$ [14].

Нормативный документ, согласно которому регламентируются перевозки: «Приказ Минтранса РФ от 08.08.1995 N73 (ред. от 14.10.1999) Об утверждении Правил перевозки опасных грузов автомобильным транспортом» [15]. Документ, определяющий технические требования: «ГОСТ 21561 – 2017» [16].



Рисунок 7 – ЖД и автоцистерна для транспортировки СПГ [17,18]

					Особенности транспорта и хранения сжиженного	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Криогенные цистерны эксплуатируются в широком температурном диапазоне от -50 до +50 градусов Цельсия. Используются различные теплоизоляционные материалы, но в большинстве случаев это многослойная вакуумная изоляция. Большое внимание уделяется изоляционным покрытиям цистерн, так как потери продукта от испарения являются затратными издержками. На рисунке 8 представлен пример внутреннего строения цистерны с пенополиуретановой изоляцией.



Рисунок 8 – Внутреннее строение цистерны для хранения и транспортировки СПГ [28]

Основные отечественные производители цистерн для СПГ:

- АО УРАЛКРИОМАСШ [18]
- ПАО КРИОГЕНМАСШ [35]

Предприятия реализуют полный комплекс цистерн, предназначенных для транспортировки и стационарного хранения СПГ.

2.4 Трубопроводная транспортировка СПГ

В середине восьмидесятых годов предполагалось использование магистральных трубопроводов для транспорта СПГ от завода изготовителя

					Особенности транспорта и хранения сжиженного	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

до пунктов регазификации [25]. В процессе разработки такой способ транспортировки оказался экономически не выгодным.

Трубопроводная транспортировка СПГ, в первую очередь это междоцеховая и внутрипромысловая транспортировка по криогенным трубопроводам (рис. 8).



Рисунок 8 – Междоцеховой криогенный (низкотемпературный) трубопровод [29]

Согласно [27], к **криогенным (низкотемпературным)** трубопроводам относятся трубопроводы, работающие с температурами от -70 до -269 °С. Такие трубопроводы имеют значительные диаметры до 1420 мм. Виды криогенных трубопроводов по назначению представлены в таблице 3.

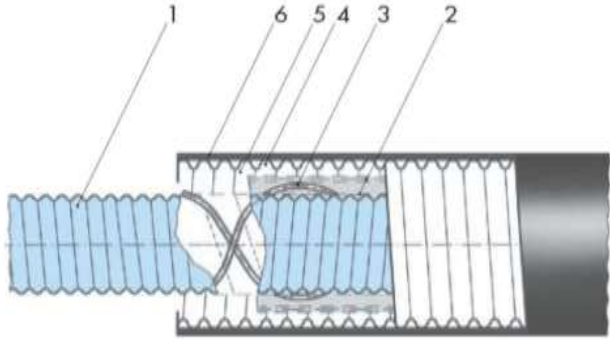
На малотоннажных заводах по сжижению природного газа как правило применяются трубопроводы меньшего диаметра. На наливных пунктах, и автозаправочных станциях применяют гибкие криогенные трубопроводы диаметрами до 264 мм. Они имеют более сложную конструкцию и экранно-вакуумную тепловую изоляцию. На рисунке 9 приведен пример соединения криогенного трубопровода к системе слива/налива криогенного продукта.

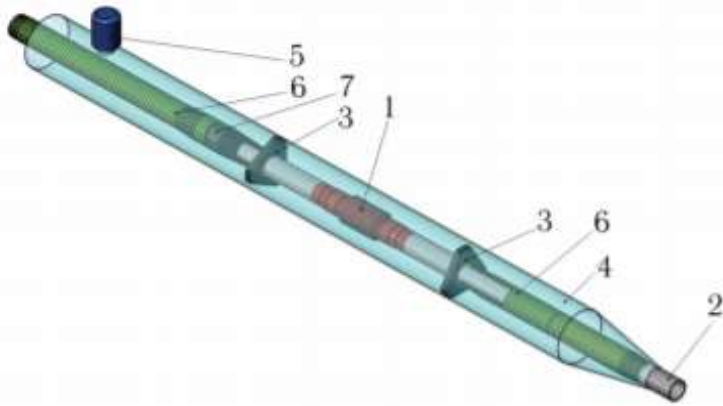
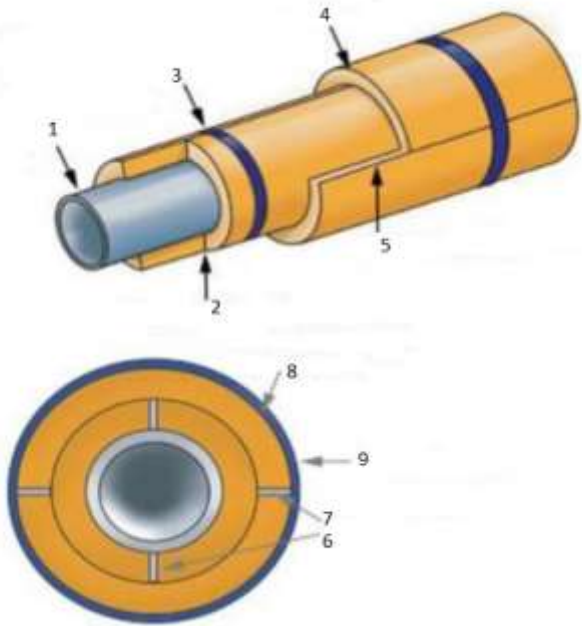
					Особенности транспорта и хранения сжиженного	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22



Рисунок 9 – Металлорукав [24]

Таблица 3 – Виды криогенных трубопроводов [30-32]

Вид т-да	Конструктивная схема	Применение
Гибкий криогенный трубопровод из двух коаксиальных гофрированных труб	 <ol style="list-style-type: none"> 1. Продольно сваренная и спирально зигованная 2. внутренняя труба; 3. Слой экранной изоляции; 4. Распорки, обеспечивающие минимальные тепловые притоки; 5. Продольно сваренный и спирально зигованный стальной кожух; 6. Вакуумная полость; 7. Защитный внешний полиэтиленовый кожух. 	<p>Предназначены для сжиженных газов (гелий, водород, кислород, аргон, природный газ) Условные диаметры (DN) от 10 до 264 мм.</p>

<p>Стационарный криогенный трубопровод с экранно-вакуумной изоляцией</p>	 <ol style="list-style-type: none"> 1. Компенсатор; 2. Труба внутренняя; 3. Опора; 4. Кожух; 5. Порт вакуумный; 6. Теплоизоляция; 7. Адсорбентр. 	<p>Область применения – транспортирование криогенных жидкостей от мест производства до хранилищ или от хранилищ до пунктов потребления.</p> <p>Продукты перекачки: сжиженный азот, гелий, кислород, водород. Температуры продуктов от -196 до 269</p>
<p>Криогенный трубопровод с невакуумной тепловой изоляцией</p>	 <ol style="list-style-type: none"> 1. Трубопровод из хромникелевой стали; 2. Внутренний слой тепловой изоляции; 3. Лента для удержания отпраного газа, $\frac{3}{4}$ дюйма в ширину (8); 4. Внешний слой; 5. Соединительный шов (6,7); 9. Защитный кожух. 	<p>Криогенные трубопроводы с невакуумной тепловой изоляцией применяются для транспорта сжиженного природного газа, ввиду нерентабельного использования вакуумных типов изоляции.</p> <p>Диаметры трубопровода до 1420.</p>

Наиболее известные производители криогенных трубопроводов: «АО Уралкриомаш», «Cryotec», «ЗКО Завод криогенного оборудования», «ООО Дельта Холод», «Cryoflex®», «ПАО Северсталь», «НТК криогенная техника», «ОАО Криогенмаш».

2.5 Хранение СПГ

Как на объектах производства, так и на приемных терминалах стационарное хранение СПГ является важнейшим элементом. Потенциальные риски, связанные с потерями продукта как на малотоннажных, так и на крупнотоннажных производствах в первую очередь затрагивают хранилища СПГ.

Хранилища СПГ согласно [22] разделяют на 2 типа, изотермические (ИР) и криогенные резервуары. Различия в конструктивно-технологических схемах в первую очередь зависят от объемов хранения. К первым относятся резервуары для хранения больших объемов, соответственно разработаны для крупнотоннажных производств. Вторые для хранения малых объемов, предназначены для малотоннажных производств. Причем криогенные резервуары эксплуатируются под избыточным давлением, а изотермические с давлением, приближающимся к атмосферному.

Криогенные резервуары

Внутренняя часть резервуаров, как и для танкеров конструируется из сплавов с 9% содержанием никеля. Для наружной части используется углеродистая сталь.

Область применения криогенных резервуаров:

- выдача СПГ в составе АЗС;
- системы энергообеспечения, работающие на СПГ;
- хранилища СПГ на малотоннажных производствах.

Область применения изотермических резервуаров:

- хранилища СПГ на крупнотоннажных производствах;
- терминалы приема и регазификации СПГ.

					Особенности транспорта и хранения сжиженного	<i>Лист</i>
						25
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

На рисунке 8 представлены криогенные резервуары в вертикальном исполнении.



Рисунок 8 – Вертикальные криогенные резервуары с системой регазификации [23]

В таблице 4 представлены примеры криогенных хранилищ СПГ.

Таблица 4 – криогенные хранилища СПГ

Производитель	Страна	Вместимость, м	Рабочее давление, МПа	Тепловая изоляция
В вертикальном исполнении				
FAS [34]	Россия	3...350	0,5...3,7	Вакуум/перлит
Криогенмаш [35]	Россия	25,4	0,6	Экранно-вакуумная
GT7 [36]	Россия	5...100	0,8	Вакуумно-перлитная
VRV S.p.A [37]	Италия	3,3...61,6	1,8	Вакуумно-перлитная
Henan Jian Shen [38]	Китай	5...200	0,2...1,6	Впученный перлит
В горизонтальном исполнении				
Liming Gas Group [40]	Китай	5...150	1,2	Вакуумно-перлитная
Криогенмаш	Россия	55; 63,6	0,6; 0,7	Экранно-вакуумная
GGC [39]	Россия	3...150	0,8...1,7	Вакуум-перлитная

Изотермические резервуары

Хранение СПГ в изотермических резервуарах осуществляется тремя способами: в подземных, заглубленных и надземных резервуарах (рисунок 9). Данный тип резервуаров имеет сложные конструкции, изоляционные

материалы большой толщины, хладостойкие стали металлических конструкций.

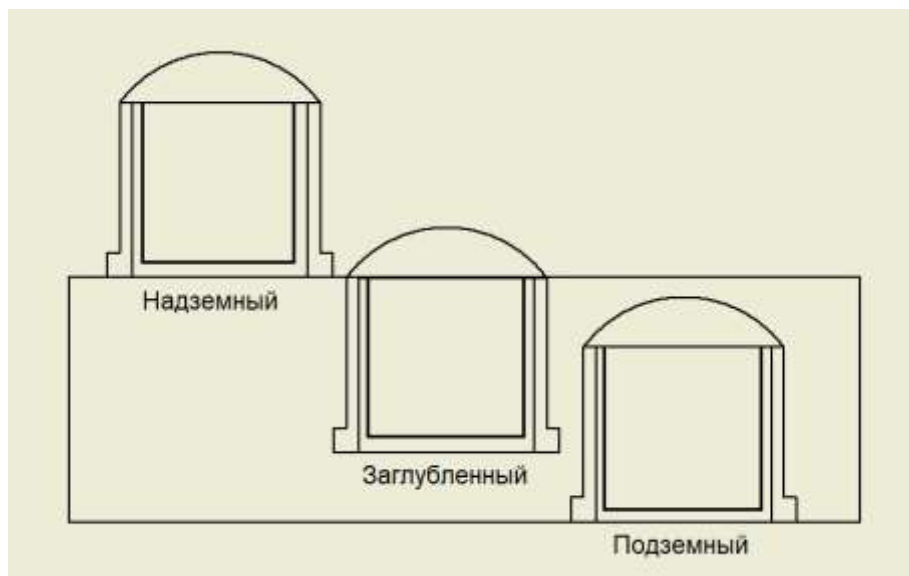


Рисунок 9 – Варианты расположения изотермических резервуаров
Согласно ГОСТ Р 58027-2017 [33] изотермические резервуары для хранения сжиженных газов классифицируют на:

- одинарный изотермический резервуар;
- двойной изотермический резервуар;
- двухбололочный изотермический резервуар;
- мембранный изотермический резервуар.

Описание всех типов изотермических резервуаров представлено в таблице 5.

Обычно ИР классифицируются по характеристикам внутреннего резервуара, находящегося в постоянном контакте с СПГ – первичного барьера, а также, по наличию дополнительных возможностей удержания СПГ от протяженного растекания при каких-либо нарушениях герметичности первичного барьера – вторичных барьеров.

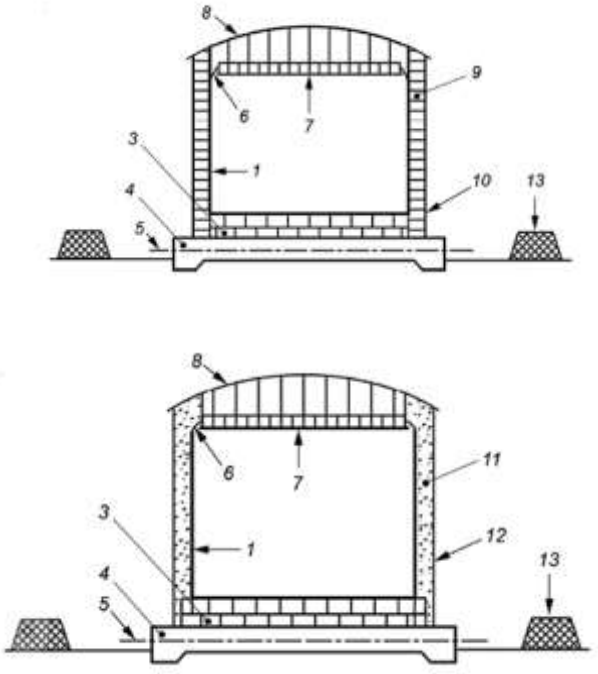
Все типы ИР для хранения СПГ могут иметь два вида конструкций крыш:

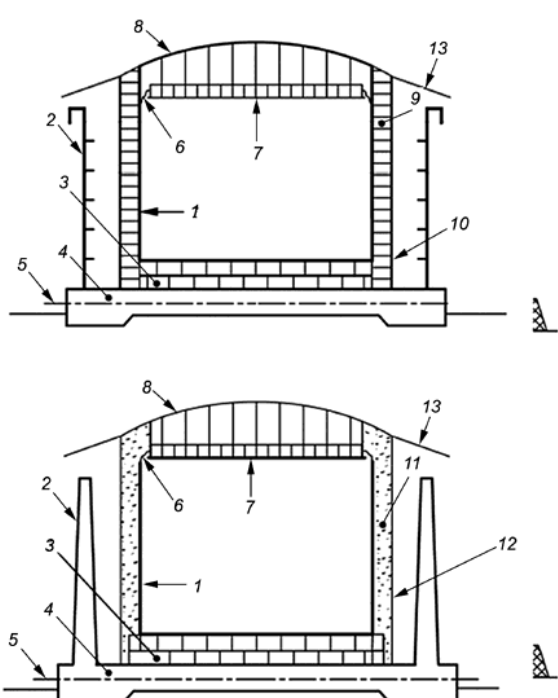
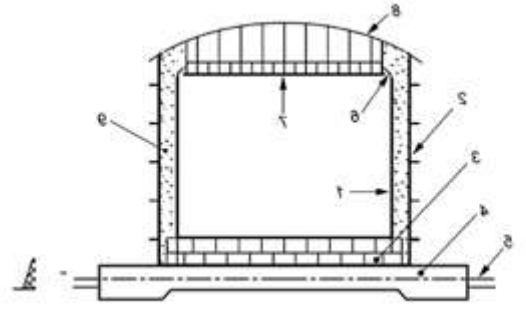
- самонесущая (купольная) крыша;

					Особенности транспорта и хранения сжиженного	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

– подвесная плоская крыша. Подвесная крыша крепится к стропилам стационарной наружной крыши с помощью подвесок.

Таблица 5 – Классификация изотермических резервуаров согласно ГОСТ Р 58027-2017 [33]

Тип резервуара	Конструктивная схема	Описание
Одинарный изотермический резервуар	 <p>1 - первичный контейнер (стальной); 3 - изоляция дна; 4 - фундамент; 5 - система обогрева фундамента; 6 - гибкое изоляционное уплотнение; 7 - подвесное перекрытие (изолированное); 8 - крыша (стальная); 9 - наружная изоляция оболочки; 10 - наружная водо- и пароизоляция; 11 - засыпная изоляция; 12 - наружная стальная оболочка (неспособная удерживать жидкость); 13 - защитная дамба</p>	<p>Состав одинарного резервуара: первичный контейнер из нержавеющей хладостойкой стали, изоляционный материал и наружная оболочка.</p> <p>Наружная оболочка предназначена для изолирования теплоизоляционных покрытий от атмосферы.</p> <p>В целях безопасности от разливов СПГ резервуары окружаются защитной дамбой.</p>

<p>Двойной изотермический резервуар</p>	 <p>1 - первичный контейнер (стальной); 2 - вторичный контейнер (стальной или бетонный); 3 - изоляция дна; 4 - фундамент; 5 - система обогрева фундамента; 6 - гибкое изоляционное уплотнение; 7 - подвесное перекрытие (изолированное); 8 - крыша (стальная); 9 - наружная изоляция; 10 - наружная водо- и пароизоляция; 11 - засыпная изоляция; 12 - внешняя оболочка (неспособная удерживать жидкость); 13 - покрытие (дождевой щит)</p>	<p>Состав: контейнер (первичный) непроницаемый для жидкости и паров (стальной или бетонный резервуар), (вторичный) контейнер проектируется так, чтобы полностью удерживать содержимое первичного контейнера в случае его разгерметизации.</p> <p>Пространство между первичным и вторичным контейнером не может превышать 6,0м.</p>
<p>Двухоболочечный изотермический резервуар</p>		<p>Состав: единое хранилище из первичного (внутреннего) и вторичного (внешнего) контейнера.</p>

Двухоболочечный изотермический резервуар	<p>1 - первичный контейнер (стальной); 2 - вторичный контейнер (стальной); 3 - изоляция дна; 4 - фундамент; 5 - система обогрева фундамента; 6 - гибкое изоляционное уплотнение; 7 - подвесное перекрытие (изолированное); 8 - крыша (стальная); 9 - засыпная изоляция; 10 - железобетонная крыша; 11 - внешний резервуар из предварительно напряженного железобетона (вторичный контейнер); 12 - изоляция внутри внешнего резервуара из предварительно напряженного железобетона</p>	<p>Межстенное пространство между внутренним и внешним контейнером не должно превышать 2,0м.</p>
Мембранный изотермический резервуар	<p>1 - первичный контейнер (мембрана); 2 - вторичный контейнер (железобетонный); 3 - изоляция дна; 4 - фундамент; 5 - система обогрева фундамента; 6 - гибкое изоляционное уплотнение; 7 - подвесное перекрытие (изолированное); 8 - железобетонная крыша; 9 - изоляция внутри внешнего резервуара из предварительно напряженного железобетона</p>	<p>Состав: единая составная конструкция из тонколистового стального первичного контейнера (мембраны) с термоизоляцией и железобетонного резервуара.</p> <p>Мембрана состоит из гофрированных взаимно перпендикулярных листов нержавеющей стали толщиной не менее 1,2.</p>

Подземные изотермические резервуары являются более надежными в условиях повышенной сейсмичности, и при разливах СПГ. Теплоприток от атмосферы намного ниже, чем у надземных резервуаров.

При строительстве и эксплуатации более рентабельными являются надземные изотермические резервуары.

Транспортировка и хранение сжиженного природного газа наиболее требовательные процессы в цепи реализации СПГ в связи с возникающими проблемами больших объемов потерь от испарения. С каждым годом внедряются все более усовершенствованные технологии для обеспечения безопасности и рентабельности данных процессов.

					Особенности транспорта и хранения сжиженного	<i>Лист</i>
						31
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

3. Общая характеристика криогенных трубопроводов

3.1 Характеристика сталей криогенных трубопроводов

Исследование сплавов и марок сталей для криогенных трубопроводов массового производства начиналось с середины восьмидесятых годов прошлого века. В 1986 году предполагалось строительство магистральных трубопроводов для сжиженного природного и углеводородного (охлажденного газа). Был разработан технический документ Р 585 – 85 «Рекомендации по проектированию газопроводов, транспортирующих охлажденный газ». В дальнейшем строительство и эксплуатация магистральных трубопроводов СПГ стало не рентабельным и все проекты были закрыты.

В работах Б.Ю. Рачевского [5], И.В. Бармина, И.Д. Куниса [22] есть рекомендации по выбору материалов для криогенной техники, а также техническое обоснование конкретных марок для криогенных трубопроводов. Согласно [5,27] применяемые марки стали приведены в таблице 6.

Для СПГ трубопроводов наиболее востребованная сталь, имеющая в составе 9% никеля. Легированные стали с содержанием хрома и никеля обладают высокими показателями устойчивости к хрупкому разрушению. Причем переизбыток хрома в стали понижает положительные свойства, поэтому его содержание должно быть четко ограничено для данной стали. Помимо стойкости к хрупкому разрушению криогенная сталь должна обладать хорошей свариваемостью.

В таблице 6 приведен пример хром-никелевой стали 12Х18Н10Т с содержанием никеля 9-11%. Данная сталь широко применяется для изготовления криогенных трубопроводов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
Разраб.		Безносов А.А.		15.06	Общая характеристика криогенных трубопроводов	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.		15.06			32	112
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.		15.06				

На отечественно рынке достаточно много производителей такой стали. Требования согласно ГОСТ 5632-2014 [41] представлены в таблице 7.

Таблица 6 – Марки сталей для криогенных трубопроводов [5,27].

Марка стали	Минимальная рабочая температура	Предел текучести, МПа	Предел прочности на разрыв, МПа	Толщина стенки трубы при давлении 0,4МПа, мм			
				529	720	1020	1420
Согласно Б.Ю. Рачевский «Сжиженные углеводородные газы»							
06Н3	-100	350	500	4	6	8	11
06Н6	-140	420	550	4	5	8	10
06Н9	-190	520	650	3	5	6	9
Н18Н9	Ниже -190	300	600	4	6	9	12
Согласно ГОСТ 32388-2013 «Межгосударственный стандарт трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические»							
12Х18Н10Т	-269	276	550	-	-	-	-
10Х14Г14Н4Т	-269	245	640	-	-	-	-
03Х13АГ19	-269	>345	640	-	-	-	-
03Х20Н16АГ6	-269	410	780	-	-	-	-
АМцС	-269	-	100	-	-	-	-
АМг5	-269	110	255	-	-	-	-
Д20	-269	-	275	-	-	-	-

Таблица 7 – Характеристика стали 12Х18Н10Т

Углерод С, %	>0,12
Кремний Si, %	>0,80
Марганец Mn, %	>2,00
Фосфор P, %	0,040
Сера S, %	0,020
Хром Cr, %	17-19
Никель Ni, %	9-11
Титан, Ti, %	0,80
Предел текучести, мПа	276

Такая компания как «Северсталь» [42] занимается производством криогенной стали марки X7Ni9. Промышленная компания предлагает производство изделий для всего комплекса по производству СПГ. Товары сертифицированы по европейским стандартам.

Пригодные материалы для контакта с СПГ приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Материалы пригодные для контакта с СПГ [43]

					Общая характеристика криогенных трубопроводов	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Наименование	Область применения
Аустенитная нержавеющая сталь	Резервуары, сливные рукава, болты и гайки, трубопроводы и фитинги, насосы, теплообменник
9 %-ная никелевая сталь	Резервуары, трубопроводы
Никелевые сплавы, ферроникель	Резервуары, болты и гайки
Железоникелевая сталь инвар (36 % никеля)	Трубопроводы, резервуары
Алюминиевые сплавы	Резервуары, теплообменники
Медь и медные сплавы	Уплотнения, трущиеся поверхности
Эластомер	Уплотнения, прокладки
Бетон (предварительно напряженный)	Резервуары
Графит	Уплотнения, сальники
Политрифторхлорэтилен	Опорные поверхности

3.2 Характеристика теплоизоляционных покрытий криогенных технологических трубопроводов

Описанию теплоизоляционных материалов для криогенных трубопроводов посвящены работы [44-46]. На всем оборудовании участвующем в технологических процессах сжижения, транспортировки, хранения СПГ происходит теплоперенос из окружающей среды в область с низкими температурами. Для обеспечения бесперебойности и надежности на всех этапах производства нужно, чтобы теплоприток был наименьшим. Для этих целей применяется теплоизоляционные материалы различного вида, материала и качества.

Назначение тепловой изоляции в криогенной технике – сводить до минимума приток теплоты из окружающей среды [44].

В соответствии с назначением, главное требование, которое предъявляемое к теплоизоляционным материалам для технологических криогенных трубопроводов, это допустимое значение коэффициента теплопроводности.

Материалы для тепловой изоляции криогенной техники изготавливаются таким образом, чтобы они не вступали в химические реакции с продуктом перекачки и элементами трубопроводов. Значения

плотностей: для волокнистых 150-450 кг/м³, для порошкообразных 60-130 кг/м³.

На рисунке 10 представлена схема классификации видов теплоизоляционных покрытий для криогенных трубопроводов.

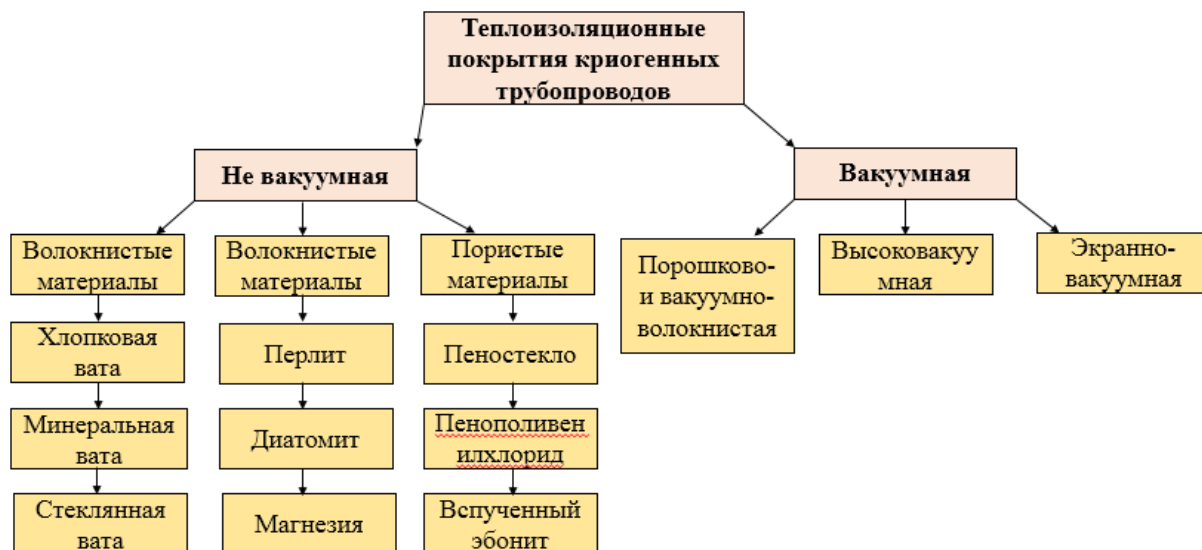


Рисунок 10 – классификация теплоизоляционных покрытий для криогенных трубопроводов [45]

При выборе изоляционного покрытия учитывают следующие факторы:

- Рациональность между качеством теплоизоляционного материала и особенностью конструкции.

Это характерно для трубопроводов с вакуумными типами изоляции, применяемыми для криогенных трубопроводов жидкого кислорода, азота, гелия. Большое количество теплоты передается через соединения конструкций, тепловые мосты, опоры. Поэтому не выгодно использовать тепловую изоляцию большой стоимости не уменьшая теплоприток в таких соединениях.

- Монтаж тепловой изоляции должен быть как можно более простым и сохранять надежность.

В производстве не найти теплоизоляционного покрытия, которое удовлетворяло бы всем требованиям, таким как надежность, низкие значения теплопроводности, гидрофобность, экологичность.

- Важно, чтобы на всем протяжении использования изоляции она сохраняла свои теплотехнические свойства. В соответствии с этим изоляция должна обладать хорошей гидрофобностью.

Гидрофобность – физическое свойство материала не смачиваться с водой. Вода собирается сверху и не проникает внутрь.

На пропитанном теплоизоляционном материале начинает скапливаться лёд и происходит повышение теплопроводности, что в свою очередь становится одним слоем с показателями (2,250 Вт/м·К). Такое значение значительно превышает допустимые значения.

Согласно ГОСТ 30244-94 [47] важный параметр, это способность изоляции противостоять горению. Материал является не горючим при приросте температуры в печи не более 50°C, потеря массы образца не более 50%, а продолжительность устойчивого пламени горения более 10 с. В таблице 9 представлены группы горючести материалов.

Таблица 9 – Группы горючести по ГОСТ 30244-94 [47]

Группа горючести материалов	Параметры горючести			
	Температура дымовых газов, °С	Степень повреждения по длине, %	Степень повреждения по массе, %	Продолжительность самостоятельного горения, с
Г1	≤135	≤30	≤20	0
Г2	≤235	≤85	≤50	≤30
Г3	≤450	>85	≤50	≤300
Г4	>450	>85	>50	>300

Рекомендации по проектированию теплоизоляционных покрытий, применяемых для криогенных технологических трубопроводов, устанавливает СП 61.13.330.2012.

Исходя из [44], рассмотрим по отдельности материалы теплоизоляционных покрытий.

Высоковакуумная тепловая изоляция

Низкие температуры газа свыше -165°C предполагают применение изоляционного покрытия с глубоким вакуумом. Это исключает переносы теплоты такие как: за счет конвекции и за счет теплопроводности газа.

Остаточное давление в высоком вакууме около $1,3 \cdot 10^{-4}$ Па. Конвекция практически отсутствует и тепло передается остаточными газами.

При давлении менее 130 Па передача тепла конвекцией практически отсутствует. Общее количество тепла, проходящее в этом случае от теплой стенки к холодной, существенно ниже того, которое передается при использовании лучшей газонаполненной изоляции (при прочих равных условиях). Высоковакуумная изоляция более эффективна, однако сложнее в изготовлении и дороже газонаполненной изоляции. Значительные проблемы связаны с эксплуатацией объектов, снабженных высоковакуумной изоляцией.

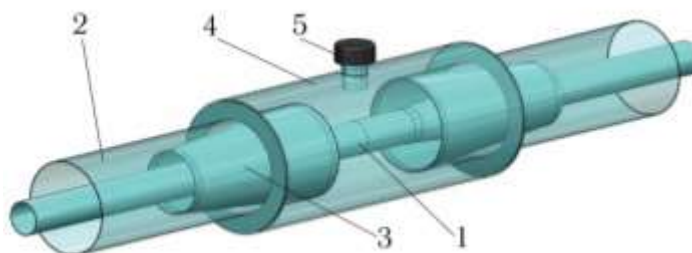


Рисунок 11 - Вакуумная теплоизоляция сварного соединения двух секций [31]:

1 — внутренняя труба; 2 — кожух секции; 3 — тепловой мост; 4 — кожух межсекционного соединения; 5 — вакуумный порт

Экранно-вакуумная и экранно-вакуумно-порошковая тепловая изоляция

Является наиболее дорогим типом изоляции, ввиду сложности конструкции. Стоит различать экранно-вакуумную тепловую изоляцию, состоящую из двух трубопроводов с экранами в виде отражающих листов и вакуумом в межтрубном пространстве. И изоляцию, состоящую из нескольких слоев материала находящегося, по вакуумом в специальных оболочках. Главное отличие, это вакуум в межтрубном пространстве

					Общая характеристика криогенных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Данный тип изоляции с вакуумом в межтрубном пространстве применяется для трубопроводов и емкостей сжиженных газов Не, Не, космической техники.

Экранирование производится в виде листов металлизированной пленки или металлической фольги. Примеры таких типов изоляции и коэффициенты теплопроводностей в таблице 10.

Таблица 10 – коэффициенты теплопроводностей экранно-вакуумной изоляции при различной толщине слоя (температуры граничных стенок 293 и 90К, давление ниже 10^{-2} Н/м² [44])

Изоляция	Толщина слоя, мм	Эффективный коэффициент теплопроводности, мВт/(м·К)
Алюминиевая фольга + СБР-М (стекло - бумага) толщиной 0,05 мм:		
плотность укладки 25 экранов на 1 см (плоский слой)	4	0,027
то же	10	0,037
то же	18	0,03
плотность укладки 43 экрана на 1 см (цилиндрический слой)	10	0,089
то же	20	0,09
то же	40	0,09
Алюминиевая фольга + стеклохолст ЭВТИ толщиной 0,2 мм:		
15 экранов на 1 см (плоский слой)	12	0,086
то же	22	0,081
то же	32	0,102
то же	42	0,102
15 экранов на 1 см (цилиндрический слой)	10	0,105
то же	28	0,105
то же	50	0,104

Экранно-порошково-вакуумная изоляция устраняет недостатки в предыдущей. Из-за остаточных газов перенос теплоты в экранно-вакуумной изоляции является большой проблемой. Между экранами как правило пространство заполняется стеклянной бумагой. Проблема создания высокого вакуума решается заполнением пространства между экранами порошковыми материалами.

Исследования, проведенные во ВНИИ Криогенмаше с изоляцией такого типа, подтвердили ее высокие изоляционные качества по сравнению с порошковой и экранно-вакуумной изоляцией (рисунок 12).

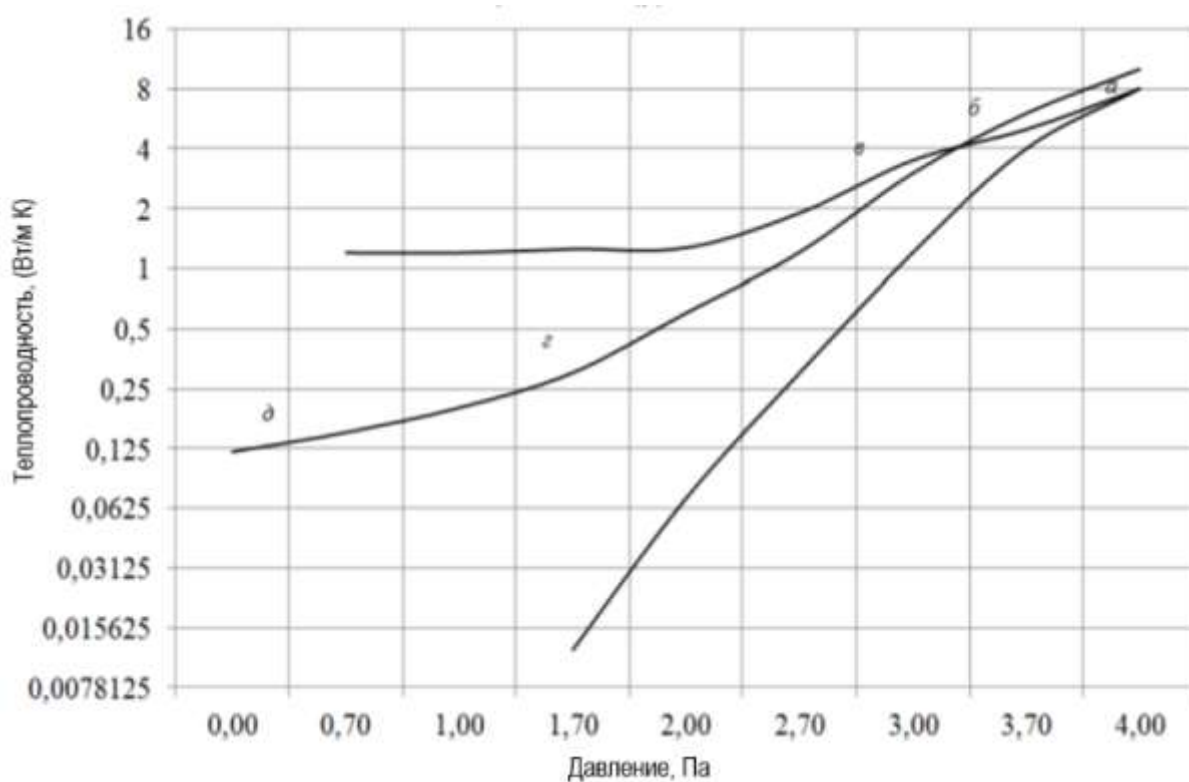


Рисунок 12 - Зависимость коэффициента теплопроводности различных типов изоляции (граничные температуры 293 и 90 К) от давления воздуха [44]:

- 1 – порошковая (перлит); 2 – многослойная (алюминиевая фольга + стеклохолст ЭВТИ); 3 – многослойно-порошковая (алюминиевая фольга + ЭВТИ + перлит)

Отечественные производители трубопроводов с экранно-вакуумной, высоковакуумной и порошково-вакуумной изоляцией: «ОАО Уралкриотехника», «ОАО Криогенмаш», «НТК криогенная техника»

					Общая характеристика криогенных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Волокнистая тепловая изоляция

Волокнистые материалы наиболее часто используются в криогенной технике. Простота монтажа основное преимущество такой изоляции.

Наиболее распространенные материалы: минеральная и стеклянная вата.

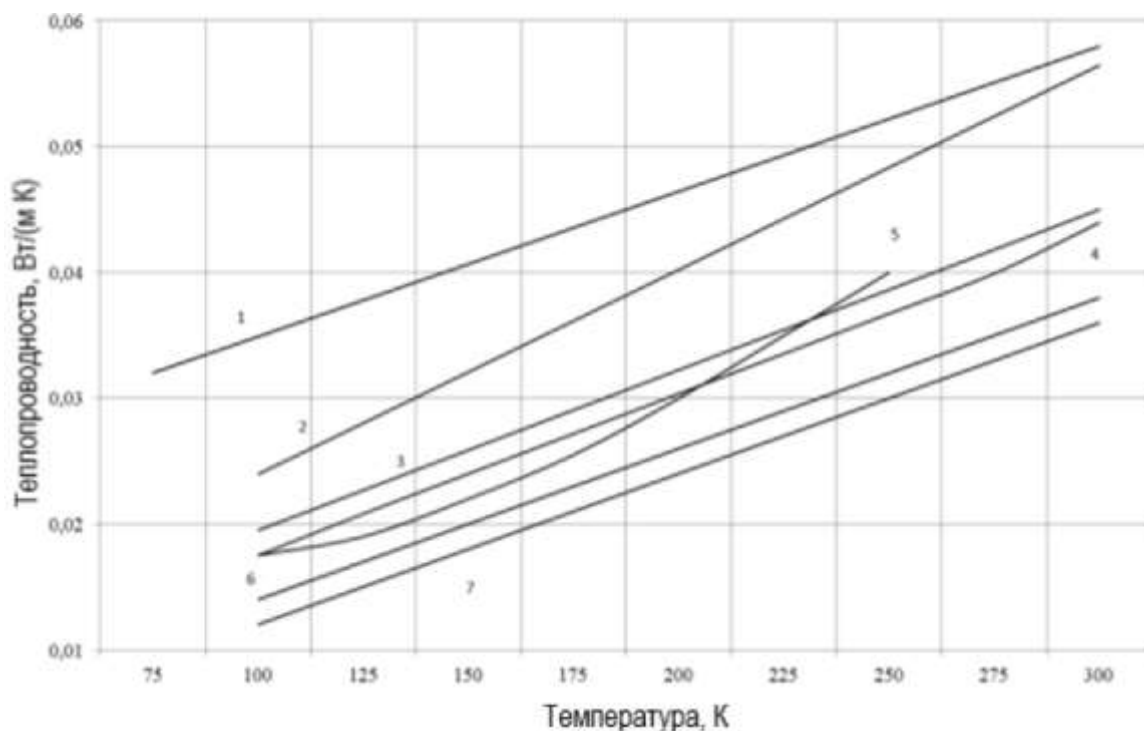


Рисунок 13 - Температурная зависимость коэффициента теплопроводности волокнистых изоляционных материалов [44]:

- 1 – хлопковая вата ($\rho=81 \text{ кг/м}^3$); 2 – минеральная вата ($\rho=400 \text{ кг/м}^3$); 3 – минеральная вата ($\rho=260 \text{ кг/м}^3$); 4 – стеклянная вата ($\rho=50 \text{ кг/м}^3$); 5 – хлопковая вата ($\rho=42 \text{ кг/м}^3$); 6 – шелковые очесы ($\rho=58 \text{ кг/м}^3$); 7 – минеральная вата ($\rho=95 \text{ кг/м}^3$)

На рисунке 13 приведена температурная зависимость коэффициента теплопроводности волокнистых изоляционных материалов, из графика видно, что в интервале рабочих температур тепловой изоляции криогенных установок значения коэффициента теплопроводности одного материала изменяются в 2–3 раза. Это надо учитывать при проектировании изоляционных конструкций.

Для криогенных технологических трубопроводов хорошо применима тепловая изоляция MLI (Multy-Layer-Insulation). Изоляция относится к типу изоляции с экранами. Трубопровод оборачивается несколькими тонкими слоями алюминиевой фольги, а пространство между ними обычно заполняется волокнистыми материалами. Как правило это 40-60 слоев.

Пористая тепловая изоляция

Пористые теплоизоляционные материалы изготавливают в виде плит, платин, кожухов. Материалы обладают достаточно низкими показателя коэффициентов теплопроводности. Основная особенность простота конструкции.

Наиболее распространенные материалы: пенополистирол, пенополиуретан, пенополивинилхлорид, вспученный эбонит, пеностекло.

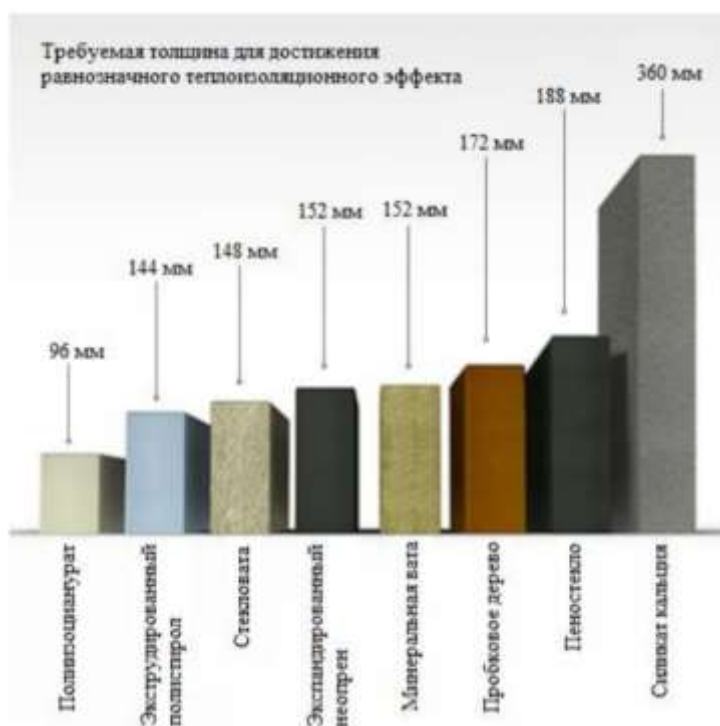


Рисунок 12 – Толщины теплоизоляционных материалов для равнозначного теплового эффекта [32]

Подходящая для криогенных технологических трубопроводов изоляция производится компанией K-flex. Монтаж на трубопроводы производится технологией MLI. Конструкция K-flex, как правило это 3-4 слоя материала из бутадиен-нитрильного каучука с закрытыми ячейками. В

					Общая характеристика криогенных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

целях защиты от влаги верхний слой покрывается полимерным гидроизолирующим покрытием.

Данный вид изоляции устойчив к механическим, температурным воздействиям.

Показатели теплотехнических характеристик универсальной тепловой изоляции приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики изоляции K-Flex [48]

Показатель	Значение
Диапазон рабочих температур, °С	От -200 до +110°С
Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, не более, Вт/(м·°С)	
-40	0,028
-20	0,030
0	0,032
20	0,034
40	0,036
Коэффициент сопротивления диффузии водяного пара, не менее	10000
Водопоглощение за 24 ч по объему при полном погружении, не более, %	0,7
Плотность, кг/м ³	40+-15

Достоинства пористых типов изоляции: водонепроницаемость, высокая прочность, химическая стойкость, негорючесть, паронепроницаемость, легкость в обработке, экологичность, стабильность геометрических размеров.

Производители пористых теплоизоляционных покрытий для криогенных трубопроводов: «K-flex», «Dyplast».

Тепловая изоляция на основе аэрогеля

На данный момент разработана более экономически выгодная и эффективная по теплоизоляционным характеристикам тепловая изоляция на основе аэрогеля.

Такие компании как «Aspen aerogel» и «Joda» производят и поставляют на мировой рынок свои материалы.

Аэрогель – материал представляющий собою гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной. Материалы обладают отличными показателями для обеспечения низкой теплопроводности изоляционных

систем. Плотность 1,9 кг/м³, для сравнения плотность воздуха равна 1,27 кг/м³. Технические показатели: твердость, прозрачность, жаропрочность, отсутствие водопоглощения. На рисунке 13, а представлена структура аэрогеля. На рисунке 13, б показан пример свойства аэрогеля выдерживать большие нагрузки.

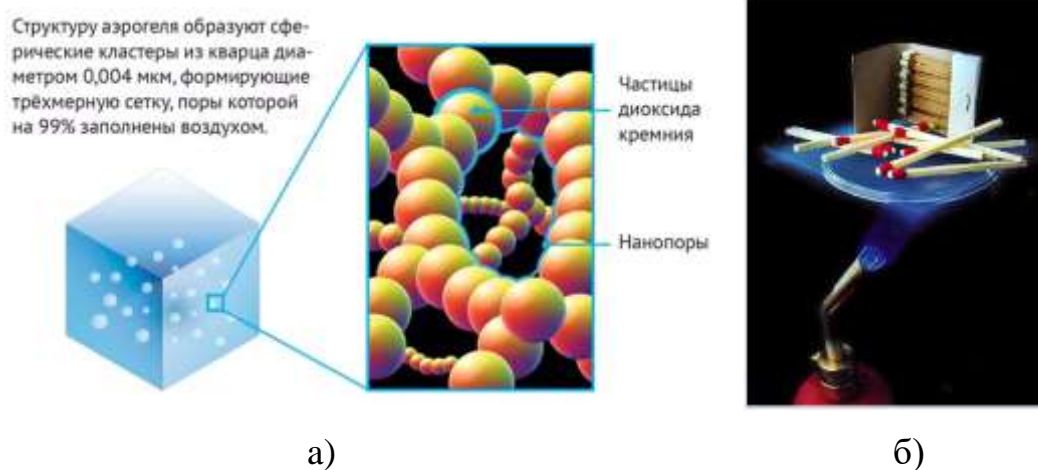


Рисунок 13 – Свойства аэрогеля [49]

а) структура аэрогеля; б) пример теплоизоляционных свойств

Характеристики теплоизоляционных покрытий от производителей представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Показатели коэффициентов теплопроводности теплоизоляции на основе аэрогеля [19, 50-51]

Компания производитель.	Вид изоляционного покрытия	Состав изоляционного покрытия	Коэффициент теплопроводности, (Вт/м*К)
AspenAerogels Inc.	Cryogel z	Стекловолоконный 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
Alison Aerogel (Guangong Alison Hi-Tech Co.,Ltd.)	Aerogel Blanket DRT10 Series	Имеет в своем составе аэрогель на основе SiO ₂ (температурный диапазон от -170 до +1000 градусов цельсия)	0,019 - 0,022

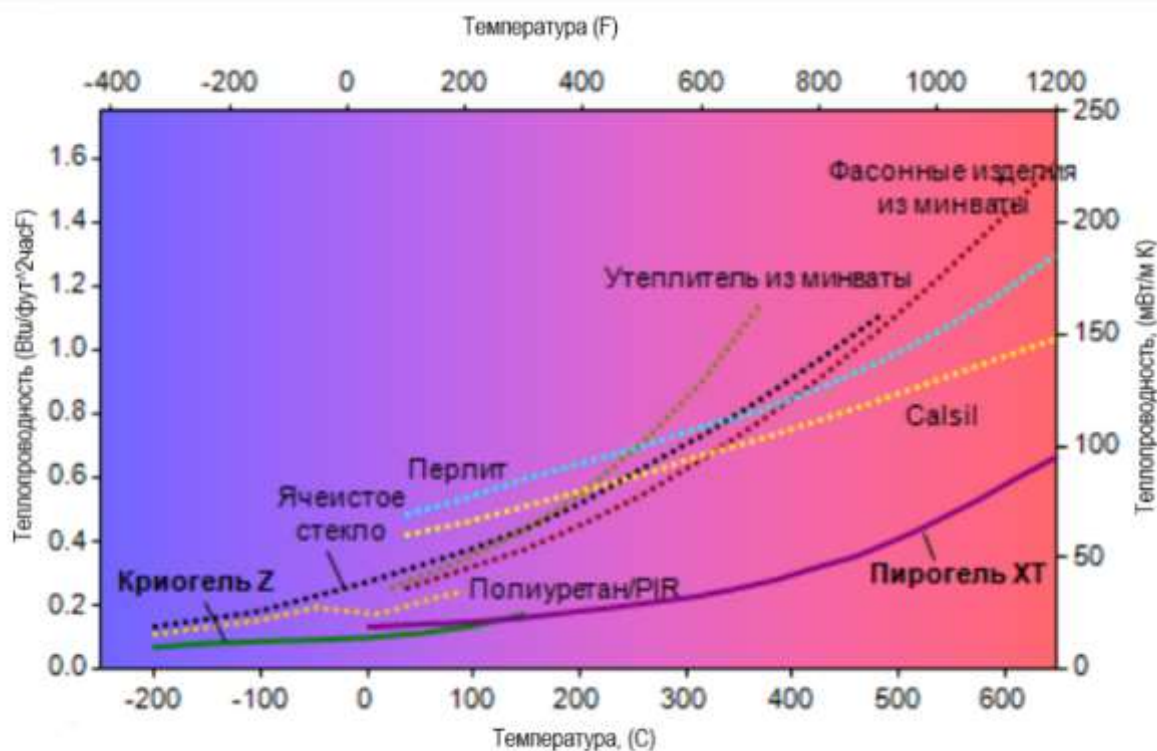


Рисунок 14 – Зависимость коэффициентов теплопроводности теплоизоляционных покрытий от температуры [19]

На рисунке 14 показана сравнительная характеристика изоляционных покрытий из волокнистых и пористых материалов. Cryogel z обладает отличными характеристиками при наименьшей температуре.

3.3 Особенности конструкции и проектирования криогенных технологических трубопроводов

Криогенные технологические и межцеховые трубопроводы прокладываются надземным способом. Наиболее сложная конструкция криогенных трубопроводов с вакуумными типами изоляции. На всем протяжении трубопровода предполагается поддержание заданного вакуума в межтрубном пространстве, что усложняет монтаж и эксплуатацию, а также соединения и изолирование запорных и регулирующих арматур.

Трубопроводы больших диаметров, как правило не проектируются с вакуумными типами изоляции, поэтому имеют более простую конструкцию и монтаж изоляции.

В настоящее время существуют проекты, предполагающие наличие заводов по сжижению на платформах, а также портов с отгрузкой СПГ, находящимися в дали от берега [52].

На рисунке 15 приведены примеры трубопроводов предназначенных для подводной прокладки

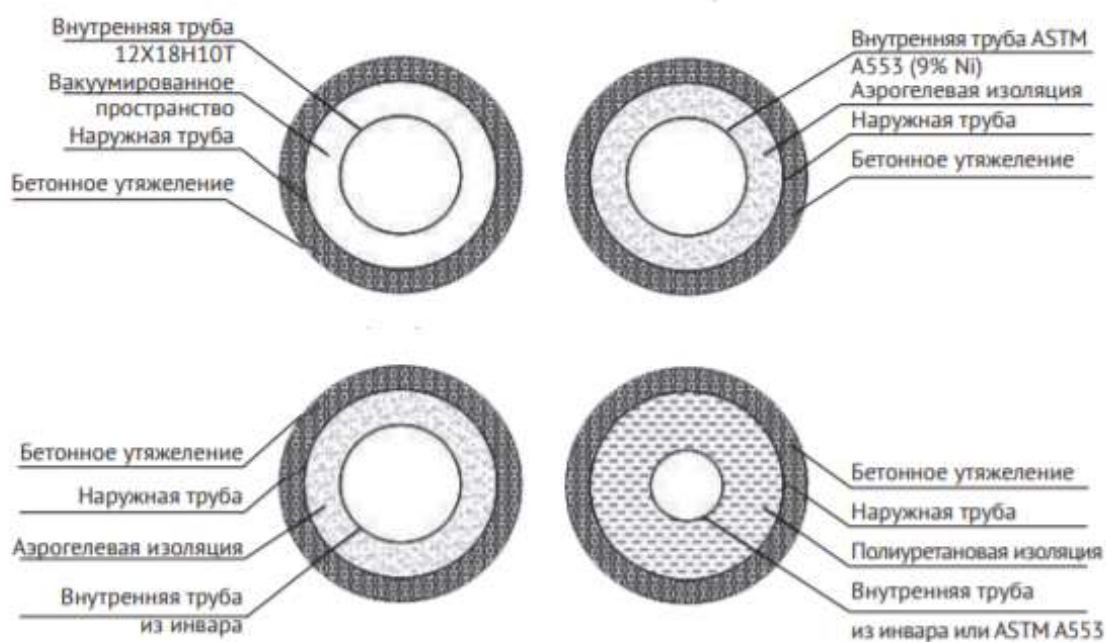


Рисунок 15 – Примеры криогенных трубопроводов для подводной прокладки [52]

нагрузках, вызываемых при эксплуатации, а также расчет толщины стенок трубопровода и по большей части устанавливает требования к материалам изготовления трубопроводов. Требования к арматуре, монтажу, эксплуатации частично приведены в ГОСТ 32569-2013 «Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах» [26]. Согласно [7] выделяют ВНТП 51-1-88 «Ведомственные нормы на проектирование установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических хранилищ и газозаправочных станций (Временные)» [56]. Здесь можно отметить такие нормы, как выбор материалов изготовления трубопроводов, способы соединения, необходимое оборудование для безопасной эксплуатации, проектирование эстакад и трубопроводов на эстакадах. Стоит отметить, что последнему уделяется мало информации и в полной мере описаны условия проектирования. Документ ГОСТ Р 56352-2015 «Нефтяная и газовая промышленность. Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа. Общие требования безопасности» [57] по сути является переделанным документом [58].

Что касается малотоннажных объектов, то тут можно выделить следующие документы: ГОСТ Р 55892-2013 «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Общие технические требования» [58], СП 326.1311500.2017 «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности» [59]. Первый документ в части, связанной с криогенными трубопроводами, ссылается на СА 03-005-07 «Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности» [60]. Для криогенных трубопроводов, применяемых на малотоннажных объектах не в полной установлены требования к размещению, установке опор и подвесок, тепловой изоляции.

					Анализ нормативно-технической документации в области проектирования, сооружения и эксплуатации криогенных технологических трубопроводов и резервуаров СПГ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Для обеспечения экономической эффективности криогенных технологических трубопроводов нужно обеспечить их бесперебойную работу. Одним из наиболее важных аспектов при эксплуатации является недопущение образования двухфазного потока и уменьшение потерь от испарения. В части, связанной с теплоизоляционными материалами, применяемыми для криогенных трубопроводов, также имеются недостатки. Документы устанавливающие требования к конструкции, эксплуатации трубопроводов ссылаются на один документ, в котором нет требований к виду изоляции, применяемой в настоящее время. На данный момент перспективной тепловой изоляцией для криогенных трубопроводов является экранно-вакуумная, порошково-вакуумная и аэрогелиевая. Нет расчетов для определения толщины тепловой изоляции, монтажу с оборудованием трубопроводов (запорная арматура, клапаны и т.д.)

Нормативно техническую документацию в области изотермических резервуаров коротко описывают в [61]. Данная работа посвящена вопросам промышленной безопасности терминалов СПГ. Почти все отечественные нормативные документы являются адаптацией к Американским или Европейским. Введенные с 1 января 2020 года документы: ГОСТ Р 58027-2017 [62], ГОСТ Р 58028-2017 [63], ГОСТ Р 58029-2017 [64], ГОСТ Р 58030-2017 [65], ГОСТ Р 58032-2017 [66]. Документы являются полной адаптацией к Европейскому EN 14620. Документы описывают правила и требования начиная с общих требований заканчивая испытаниями на прочность. Как и для трубопроводов одним из наиболее важных этапов при проектировании является расчет тепловой изоляции. В совокупности с документами СП-41-103-2000 [67], СП-61.13330.2012 [68] и [69], нет достаточной информации для определения всех параметров тепловой изоляции.

Стандартизация в области криогенных резервуаров направлена по большей част на требования к эксплуатации и обеспечению безопасности. Основные документы: [58,59]. Это связано в первую очередь с тем, что

					Анализ нормативно-технической документации в области проектирования, сооружения и эксплуатации криогенных технологических трубопроводов и резервуаров СПГ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

криогенные резервуары производятся и поставляются с заводов изготовителей.

Обзор зарубежных нормативно технических документов

Описанию зарубежной стандартизации в области СПГ посвящена работа [20]. Авторами проведен анализ состояния стандартизации на 2017 год. Рассмотрены Американские, Европейские, Канадские, Австралийские нормативные документы. Также установлены этапы разработки международной стандартизации в области СПГ.

Первым, наиболее полным документом, определяющим как технические требования, так и требования безопасности к трубопроводам и резервуарам СПГ является документ NFPA 59A [70]. Касательно криогенных трубопроводов, документ ссылается на стандарты организации ASME. Требования к криогенным и изотермическим стационарным резервуарам находятся в API.

Такие стандарты, как ASME B31.3 [71], ASME B31.4 [71], распространяются на трубопроводы, работающие с сжиженными газами. Для трубопроводов СПГ есть рекомендации к используемым материалам, критериям проектирования, допускаемым напряжениям, требованиям к оборудованию (муфты, клапаны и т.д.), соединениям трубопроводов, вспомогательным трубопроводам, контролю и борьбе с коррозией трубопроводов, к подводным трубопроводам. Требования к теплоизоляционным покрытиям практически отсутствуют. Политика компаний основана на индивидуальном подходе к нормированию конкретных условий производств. В связи с этим в подобных документах отсутствуют нормы для проектирования трубопроводов от завода до причала.

Европейский стандарт BS EN 1473:2007 [73], в части, связанной с трубопроводами аналогично предыдущим, устанавливает требования к материалам, конструкции и т.д. Можно отметить преимущества этого документа в том, что он ссылается на BS EN 1160:1997 [74], который в свою очередь содержит большой список используемых теплоизоляционных

					Анализ нормативно-технической документации в области проектирования, сооружения и эксплуатации криогенных технологических трубопроводов и резервуаров СПГ	Лист 49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

материалов, сталей, применяемых для криогенных трубопроводов и оборудования.

Изотермические резервуары нормируются [70]. Как было отмечено ранее, документ ссылается на API 625 [75], API 620 [76]. Более подробно в последних документах содержатся требования к строительству, проектированию, стальных изотермических резервуаров СПГ.

Европейский стандарт EN 14620 [77] является оригиналом для переведенных [62-66].

Согласно [69], идентичными можно считать Канадские стандарты группы CSA-Z276-15 и [71].

Основные выводы на основе анализа документации:

В первую очередь стоит отметить, что отечественная нормативная база в основе своей является переводами или адаптацией к международно признанным документам. Связано это с тем, что крупные проекты, реализуемые в Российской Федерации (РФ), осуществляются в совокупности с зарубежными организациями.

Также, стоит отметить уникальность данных проектов, потому что их осуществление происходит в климатических условиях арктического шельфа.

Для того, чтобы глубоко понимать все процессы, обеспечивать безопасность эксплуатации производственных объектов требуется пересмотреть эти документы. Такой опыт можно получить только после внедрения новых объектов. Примером можно считать проект Сахалин-2. После реализации новых мощностей производства, мы в праве ожидать появления отечественной нормативно-технической документации.

На данный момент стандартизация в области стационарного хранения и трубопроводной транспортировки интенсивно меняется. Компании в РФ ведут похожую политику в отношении к стандартизации на зарубежную. Так, например у ПАО Газпром, Sakhalin Energy есть собственная база стандартов.

Необходимость в собственных документах обуславливается тем, что при реализации проектов есть большие требования к охране окружающей

					Анализ нормативно-технической документации в области проектирования, сооружения и эксплуатации криогенных технологических трубопроводов и резервуаров СПГ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

среды и экологии, а также введенные санкции. Необходима полное соответствие документообороту РФ.

— Нет нормативного документа, в котором присутствуют все требования для криогенных технологических трубопроводов, и стационарных хранилищ СПГ;

— Документы, являющиеся практически полными переводами зарубежных, не имеют ключевых требований для проектирования. В частности, это связано с теплоизоляционными покрытиями. Переведенные документы ссылаются на имеющиеся Российские НТД, в которых нет требований к используемым на данный момент материалам;

— Для расчета показателей, компании-производители теплоизоляционных материалов ссылаются на методики в имеющихся нормативных документах, которые не решают задачу в полной мере;

Для характерных процессов возникающих при эксплуатации криогенных трубопроводов отсутствуют методики расчета.

					Анализ нормативно-технической документации в области проектирования, сооружения и эксплуатации криогенных технологических трубопроводов и резервуаров СПГ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

5. Патентные исследования в области криогенных трубопроводов СПГ

Изобретения, связанные с криогенными трубопроводами для сжиженных газов [99-110]: (RU2686646C1, RU2532476C2, RU2239756C2, RU95120543A, RU54135U1, RU96100184A, RU2571696C2, RU2177100C2, RU2035001C1, RU2042875C1, RU2239746C2, RU103598C1).

Изобретения, связанные с изоляцией для криогенных трубопроводов [111,112]: (RU2002110425A, RU238492C2, RU62643U1,)

Патенты на изобретения, связанные с материалами на основе аэрогеля для теплоизоляционных покрытий [113-116]: (RU727426C1, RU2696638C1, RU596122C2, RU2016114691A, RU2161143C2, RU2293906C2, RU2605485C2, RU190561U1, RU2260740C2, RU2582528C2, RU192070U1).

Исходя из рисунка 16, большое количество изобретений, связанных с конструкцией и эксплуатацией трубопроводов, приходится на период с 2005 по 2020 год.

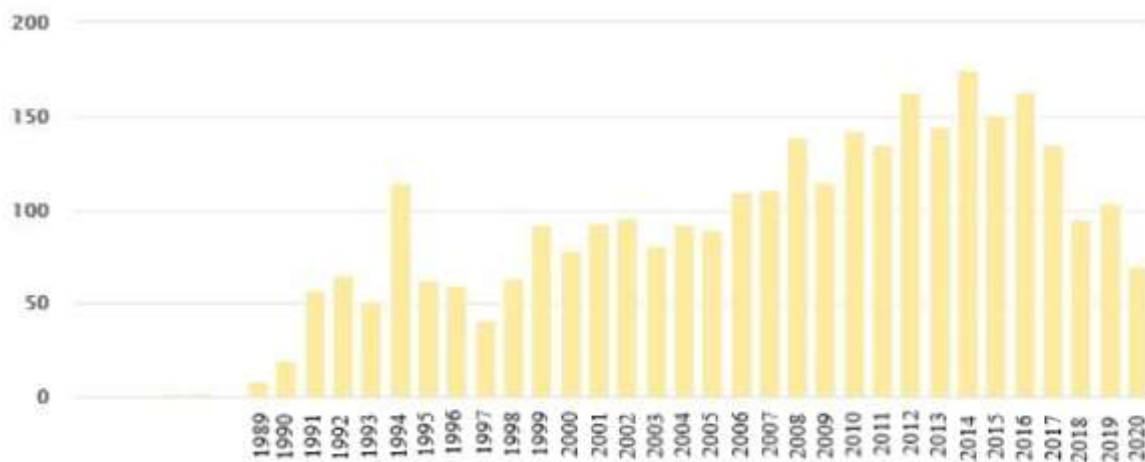


Рисунок 16 – Количество патентов на изобретения по годам [53]

					Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Безносов А.А.		15.06	Патентные исследования в области криогенных трубопроводов СПГ	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Чухарева Н.В.		15.06			52	112
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б7А		
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.		15.06				

6. Расчетная часть

6.1. Обзор методик расчета теплопритока и потерь от испарения СПГ через поверхность криогенного трубопровода

В настоящее время в нормативно-технической документации нет методик для расчета теплопередачи через изоляцию и толщину стенки трубопровода.

Отечественными авторами предложены методики для расчета теплового потока через изоляцию и стенку трубопровода. Методики предложены в работах следующих авторов: А.Ю. Баранова, Е.В. Соколова, Б.Ю. Рачевского, В.А. Вакуненко, С.Ю. Пирогова. Стоит отметить, что все предложенные методики не учитывают теплоприток при течении СПГ.

Таблица 14 – Методики расчета теплового потока через цилиндрические стенки

Авторы и название работы	Методика для расчета теплового потока и массы потерь на испарение СПГ	Описание методики
Закон Ньютона – Рихмана [78-79]	$q_n = \alpha_n (t_n - t_i);$ $q_{вн} = \alpha_{вн} (t_{i+1} - t_ж)$	Теплоприток через поверхность стенки объекта. Для газообразной и жидкой сред.
Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы [21]	$q = k_n (t_n - t_в); k$ $= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}}}$	Теплоприток через единицу поверхности плоской стенки
Закон Фурье [78-79]	$q_i = \frac{2\pi(t_i - t_{i+1})}{\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}$	Расчет теплового потока через i-й слой объекта
Пирогов С.Ю. Природный газ. Метан: справочник [80]	$M_{исп} = \frac{\lambda_{из} \cdot \Delta T \cdot F}{\delta_{из} \cdot r} \cdot \tau_{хр}$	Расчет массы потерь на испарение СПГ
СП-41-103-2000 [67], СП-61.13330.2012 [68]	$q = \frac{(t_в - t_n) \cdot K}{R_{вн}^L + \sum_{i=1}^n R_i^L + R_n^L};$ $R_{вн}^L = \frac{1}{\pi d_{вн}^{ст} \alpha_{вн}}; R_i^L =$ $\frac{1}{2\pi \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_n^i}{d_{вн}^i}; R_n^L = \frac{1}{\pi d_n^{из} \alpha_n}$	Расчет теплового потока через криволинейную стенку тепловой изоляции, состоящую из n слоев. Рекомендован для оборудования и трубопроводов,

Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Безносов А.А.		15.06
Руковод.		Чухарева Н.В.		15.06
Консульт.				
Рук-ль ООП		Брусник О.В.		15.06
Расчетная часть				
			Лит.	Лист
				53
			Листов	
			112	
НИ ТПУ гр. 2Б7А				

Окончание таблицы 14

		работающих при температуре от +30 до +600 градусов.
Баранов А.Ю., Соколова Е.В. Хранение и транспортировка криогенных жидкостей. [44]	$\Delta G_{\text{ц}} = \frac{q_{\text{ц}}}{r}; q_{\text{ц}} = \frac{L \cdot \Delta T \pi}{\frac{1}{a_1 D} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{a_2 d}}$	Расчет количества теплоты, испарившегося от теплопритока по цилиндрической части изоляционной конструкции за единицу времени

Проанализировав данные работы, можно сделать вывод, что все методики схожи в корне, но имеют небольшие различия, связанные с учетом коэффициентов отдачи тепла. Основа этих методик – это законы Ньютона – Рихмана и Фурье. Также стоит отметить, что все методики делятся на расчеты цилиндрической и плоской стенки объекта. Для расчета трубопровода целесообразно применять расчет для многослойной цилиндрической поверхности.

По закону Фурье расчет теплопритока через цилиндрическую поверхность (1) выглядит следующим образом:

$$q_i = \frac{2\pi(t_i - t_{i+1})}{\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя n -слойной стенки, Вт/(м·К);

t_i – температура i -го слоя n -слойной стенки, К;

d_i и d_{i+1} – диаметр i -го слоя n -слойной стенки, м.

Расчет теплоотдачи между стенкой и жидкостью по закону Ньютона – Рихмана выглядит следующим образом:

Для наружной (2) и внутренней (3) поверхности.

$$q_{\text{н}} = \alpha_{\text{н}}(t_{\text{н}} - t_i), \text{ Вт/м}^2 \quad (2)$$

$$q_{\text{вн}} = \alpha_{\text{вн}}(t_{i+1} - t_{\text{ж}}), \text{ Вт/м}^2 \quad (3)$$

					Расчетная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$\alpha_{вн}$ и $\alpha_{н}$ – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей стенок изолируемого объекта, Вт/(м² · °С);

$t_{ж}$ – температура среды (жидкости) внутри изолируемого объекта, °С;

$t_{н}$ – температура окружающей среды, °С.

В работе [44] приводятся доказательства того, что разность температур между цилиндрической стенкой и продуктом составляет порядка не более 0,1%.

В работе [44] представлена методика, позволяющая рассчитать массу продукта, испарившегося от теплопритока при перекачке или хранении СПГ:

$$M_{исп} = \frac{\lambda_{из} \cdot \Delta T \cdot F}{\delta_{из} \cdot r} \cdot \tau_{хр}, \text{ кг} \quad (4)$$

$\lambda_{из}$ – средний коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м·К);

$\delta_{из}$ – толщина изоляции, м;

$\tau_{хр}$ – время хранения, с;

r – удельная теплота испарения продукта, Дж/кг.

Расчет по данной методике рекомендован для однослойной стенки при постоянном коэффициенте теплопроводности $\lambda = \text{const}$. Коэффициент теплопроводности зависит в первую очередь от плотности и температуры материала.

В работе Б.Ю. Рачевского приведена методика для расчета многослойной плоской стенки:

$$q = k_{н} (t_{н} - t_{в}), \text{ Вт/м}^2 \quad (5)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{н}} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}}} \quad (6)$$

k – общий коэффициент теплопередачи от хранимого сжиженного газа к окружающей среде, Вт/м²·К.

					Расчетная часть	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Одна из компаний предоставляющая теплоизоляционные материалы на отечественный рынок () ссылается на методики, приведенные в нормативно-технических документах [67-68]. Все формулы, используемые в данных методиках, в основе являются законами теплопередачи Фурье и Ньютона – Рихмана.

В работе А.Ю. Баранова и Е.В. Соколова [44] приведены методики для расчета теплопритока через экранно-вакуумную, порошковую и газонаполненную тепловую изоляцию. Для криогенных трубопроводов есть рекомендация расчета теплопритока по формулам для цилиндрической криогенной емкости.

Потери продукта от испарения в общем виде представлены формулой:

$$\Delta G_{\text{ц}} = \frac{q_{\text{ц}}}{r}, \text{ кг/ч} \quad (7)$$

Тепловой поток для цилиндрической части тепловой изоляции:

$$q_{\text{ц}} = \frac{L \cdot \Delta T \pi}{\frac{1}{a_1 D} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{a_2 d}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (8)$$

Для криогенных трубопроводов вводятся упрощения. Так как теплопроводность металла является большой, термическим сопротивлением стенок трубы можно пренебречь. Влияния термического сопротивления внутренней стенки трубы и кипящей жидкости, а также передачи теплоты от воздуха окружающей среды к кожуху являются незначительными. После принятых упрощений уравнение имеет вид:

$$q_{\text{ц}} = \frac{2\lambda L \Delta T \pi}{\ln \frac{D}{d}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (9)$$

L – длина расчетного участка трубопровода, м.

					Расчетная часть	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6.2. Расчет толщин теплоизоляционных материалов для достижения одинакового теплоизоляционного эффекта

Для определение оптимального изоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов нужно провести сравнительный анализ толщин теплоизоляционных покрытия для достижения одинакового теплового эффекта. Наибольший диаметр и протяженность имеют криогенные межцеховые трубопроводы от завода по сжижению до терминала отгрузки.

Алгоритм расчета представлена на рисунке 17.

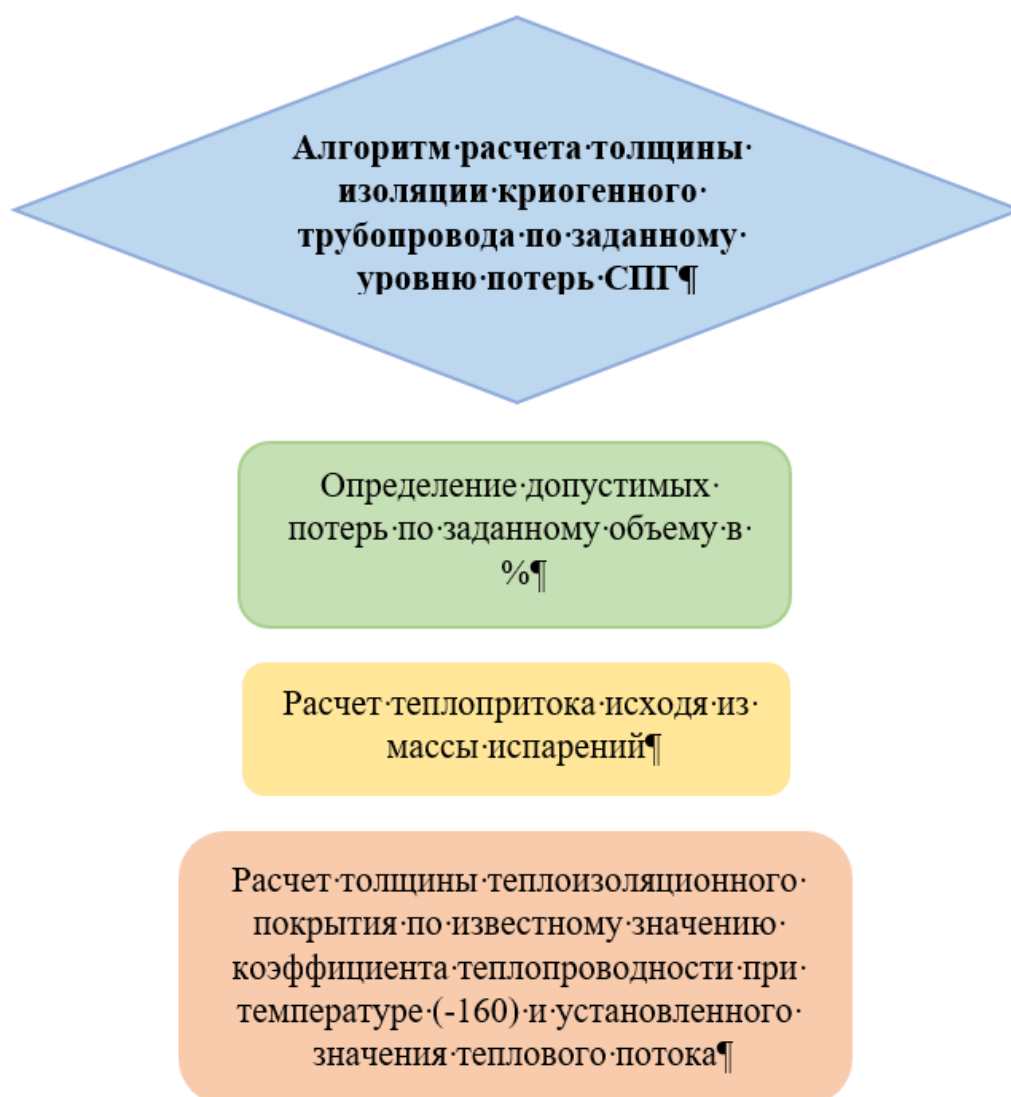


Рисунок 17 – Алгоритм расчета толщины теплоизоляционного покрытия

					Расчетная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

В качестве объекта исследования был выбран именно технологический (межцеховой) криогенный трубопровод.

Рассмотрим 6 видов тепловой изоляции, применяемой для криогенных технологических трубопроводов:

- █████ (На основе аэрогеля);
- █████ (На основе аэрогеля);
- █████ (Вспученный синтетический каучук);
- █████ (Вспененный полиэтилен);
- █████ (Экранно-вакуумная);
- █████ (Пенополиуретан).

Таблица 15 – Значения коэффициентов теплопроводности теплоизоляционных материалов [29,44,48,50].

█████ (Вспененный синтетический каучук)	Кожух	$\lambda =$ █████ (Вт/мК)
█████ (Вспененный полиэтилен)	Кожух, панели	$\lambda =$ █████ (Вт/мК)
█████ (Экранно-вакуумная)	Лист	$\lambda =$ █████ (Вт/мК)
█████ (На основе аэрогеля)	Лист	$\lambda =$ █████ (Вт/мК)
█████ (Пенополиуретан)	Пена, кожух	$\lambda =$ █████ (Вт/мК)
█████ (На основе аэрогеля)	Лист	$\lambda =$ █████ (Вт/мК)

Для экранно-вакуумной изоляции требуется глубокий вакуум. При использовании экранно-вакуумной изоляции и при ее расчете, как и для вакуумно-порошковой изоляции, сложный механизм передачи тепла (излучение, теплопроводность изолирующих прокладок и остаточных газов) условно заменяют теплопроводностью, определяя экспериментально эффективный коэффициент теплопроводности. Согласно [44] эффективный коэффициент теплопроводности для (█████) принимают █████ Вт/мК.

Зададимся условием что ежедневные потери от испарения при перекачке по трубопроводам составляют 0,15% от общей массы. Основной теплоприток поступает через изоляционный материал и стенки трубопровода, и малая часть через детали креплений и опоры согласно [44].

Исходя из этого определим необходимые толщины теплоизоляционных покрытий для достижения одинакового теплоизоляционного эффекта.

Исходные данные для выбранного объекта исследования приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Исходные данные

D_H			Наружный диаметр трубопровода, мм
$T_{ж}$			Температура сжиженного природного газа, °С
T_H			Температура наружного воздуха, °С
L			Длина исследуемого участка трубопровода, м
$\lambda_{ж}$			Коэффициент теплопроводности СПГ, Вт/(м·К)
r			Теплота парообразования сжиженного природного газа, кДж/кг
τ			Время перекачки, ч
δ			Толщина стенки трубопровода, мм

Как уже было сказано выше криогенные технологические (межцеховые) трубопроводы работают в двух режимах:

- Режим хранения: происходит постоянная циркуляция сжиженного природного газа из резервуаров для хранения по трубопроводам на эстакаде, коллекторам причала погрузки и обратно в резервуары.

- Режим отгрузки

Предположим, что в сутки по одному трубопроводу длиной \blacksquare м перекачивается около \blacksquare кг СПГ.

Допустимые потери на испарение:

$$M_{\text{исп}} = \frac{M_{\text{прод}} \cdot 0,15}{100}, \text{ кг} \quad (10)$$

$$M_{\text{исп}} = M_{\text{прод}} \cdot 0,00015 = \blacksquare, \text{ кг} \quad (11)$$

Расчет теплового притока через изоляционное покрытие для всех исследуемых теплоизоляционных покрытий применима методика А. Ю. Баранова и Е. В. Соколова.

Так как процесс является стационарным, интенсивность теплопритока считаем постоянной, согласно [] определим исходя из массы испарений:

$$q = \frac{M_{\text{исп}} \cdot r}{\tau \cdot F}, \text{ Вт/м}^2 \quad (13)$$

$$F = L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}, \text{ м}^2 \quad (14)$$

$$q = \frac{M_{\text{исп}} \cdot r}{\tau \cdot F} = \blacksquare, \text{ Вт/м}^2 \quad (15)$$

$$F = L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} = \blacksquare, \text{ м}^2 \quad (16)$$

Так как в трубопроводе СПГ течет постоянно возникает вопрос о коэффициенте теплоотдачи на внутренней поверхности трубопровода. Согласно [7] допустимо не учитывать коэффициенты теплоотдачи от жидкости к внутренней стенке трубопровода, так как ввиду большой теплопроводности сталей, используемых для криогенных трубопроводов, разница температур минимальна и составляет около 0,1%

Коэффициенты теплопроводностей для исследуемых теплоизоляционных покрытий принимаются согласно производителям.

Расчет толщины каждого теплоизоляционного покрытия согласно [] выглядит следующим образом:

$$q = \frac{\lambda \Delta T}{\delta_{\text{из}}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (17)$$

$$\Delta T = T_{\text{н}} - T_{\text{ж}}, \text{ К}$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda \Delta T}{q}, \text{ м} \quad (18)$$

Для тепловой изоляции (\blacksquare (Вспененный синтетический каучук)) толщина изоляции:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\blacksquare \cdot \blacksquare}{\blacksquare} = \blacksquare, \text{ м} \quad (19)$$

					Расчетная часть	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Аналогичным образом производится расчет исследуемых теплоизоляционных покрытий из таблицы 15. Результаты представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Расчетные величины толщин теплоизоляционных покрытий

Вид тепловой изоляции	Толщина, м
■ (Вспененный синтетический каучук)	■
■ (Вспененный полиэтилен)	■
■ (Экранно-вакуумная)	■
■ (На основе аэрогеля)	■
■ (Пенополиуретан)	■
■ (На основе аэрогеля)	■

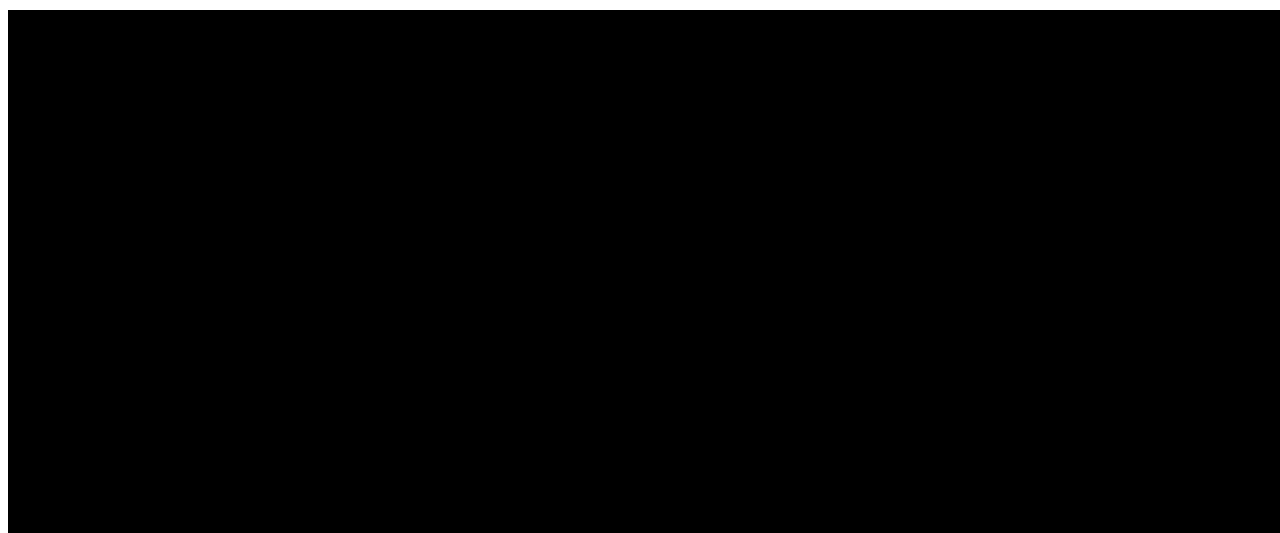


Рисунок 18 – Толщины исследуемых теплоизоляционных покрытий для обеспечения 0,15% потерь перекачиваемого продукта в сутки

Изменяя процент допустимых потерь от испарения в сутки, получаем зависимость толщины изоляционного покрытия от допустимого процента потерь (таблица 18, рисунок 18)

Таблица 18 – Расчетная толщина теплоизоляционных покрытий в зависимости от процента заданных потерь СПГ

Тип изоляционного материала	Процент потерь, %				
	0,05	0,025	0,015	0,0125	0,001
	Толщина, м				

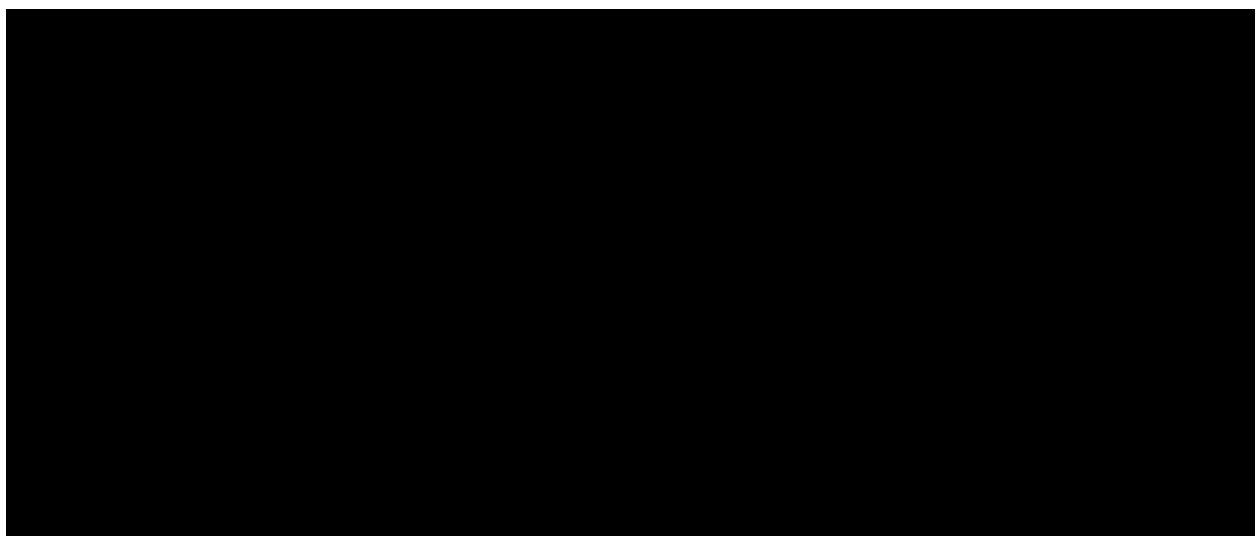


Рисунок 19 – Зависимость толщины изоляции от процента потерь продукта

Наиболее эффективной по теплоизоляционным свойствам в настоящее время считается экранно-вакуумная тепловая изоляция. Причем для трубопроводов диаметром свыше 300мм в пространстве между кожухом и стенкой трубы не создается вакуум, так как это требует больших вложений и трудозатрат, а также при возникновении разгерметизации небольшого участка в негодность приходит вся система. Изоляция технологии [REDACTED] самая дорогая из приведенных в данной работе. На рынке уже есть более выгодная, но с увеличенными показателями теплопроводности тепловая изоляция на основе аэрогеля [REDACTED] и [REDACTED].

6.3. Расчет на прочность криогенных технологических трубопроводов

В качестве материала для изготовления (низкотемпературных) криогенных трубопроводов используют хром-никелевые стали с добавлением титана. В качестве объекта исследования был выбран криогенный технологический (межцеховой) криогенный трубопровод с характеристиками, приведенными в таблице 18. Для расчетов выбрана сталь 12X18H10T согласно [27].

Расчет производится в соответствии с ГОСТ 32388 – 2013 [27].

Исходные данные для расчетов приведены в таблице 19

Таблица 19 – Исходные данные

$P_{\text{раб}}$	■	Рабочее внутреннее избыточное давление, МПа
D_a	■	Наружный диаметр трубопровода, мм
φ_y	■	Коэффициент прочности продольного сварного шва при растяжении

Определение толщины стенки и допустимого давления

Допустимое напряжение при расчетной температуре:

$$[\sigma] = \min \left[\frac{\sigma_B}{3,0}; \frac{\sigma_{0,2}}{1,5} \right], \text{ МПа} \quad (20)$$

$\frac{\sigma_B}{t}$ и $\frac{\sigma_{0,2}}{t}$ – пределы текучести, МПа;

Для стали 12X18H10T согласно [27], равны ■ МПа и ■ МПа соответственно.

$$[\sigma] = \min \left[\frac{\sigma_B}{3,0}; \frac{\sigma_{0,2}}{1,5} \right] = \text{■} \text{ МПа}$$

Расчетная толщина стенки трубы:

$$S_R = \frac{|p| \cdot D_a}{2\varphi_y[\sigma] + |p|}, \text{ мм} \quad (21)$$

$$S_R = \frac{|p| \cdot D_a}{2\varphi_y[\sigma] + |p|} = \text{■} \text{ мм}$$

Допускаемое давление для труб:

$$[p] = \frac{2\varphi_y[\sigma](s - c)}{D_a - (s - c)}, \text{ мм} \quad (22)$$

S – номинальная толщина стенки трубопровода, мм;

C – суммарная прибавка к толщине стенки трубопровода, мм;

$$S_R = (s - c), \text{ мм} \quad (23)$$

В соответствии с формулой (23) допускаемое давление равно:

$$[p] = \frac{2\varphi_y[\sigma](s - c)}{D_a - (s - c)} = \blacksquare \text{ МПа}$$

Расчет толщины стенки отвода:

$$S_{RO} = S_R k_i, \text{ мм} \quad (24)$$

k_i – коэффициент для гнутых и крутоизогнутых отводов

Согласно [27] примем значение коэффициента 1,3

Толщина стенки отвода:

$$S_{RO} = S_R k_i = \blacksquare \text{ мм}$$

Расчетные напряжения в трубах

Среднее окружное напряжение от внутреннего давления при отсутствии колец жесткости определяют по формуле:

$$\sigma_{кц} = \frac{p(D_a - S)}{2\varphi_y S} \quad (25)$$

S – Расчетная толщина стенки трубы.

$$\sigma_{кц} = \frac{p(D_a - S)}{2\varphi_y S} = \blacksquare \text{ МПа}$$

Согласно проведенным расчетам для трубопровода диаметром \blacksquare со средним окружным напряжением от внутреннего давления \blacksquare необходима расчетная толщина стенки трубопровода \blacksquare .

					Расчетная часть	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7. Социальная ответственность

Введение

Сжиженный природный газ перспективное топливо как для энергетического сектора, так и для транспортного. Криогенные технологические трубопроводы на объектах крупнотоннажного и малотоннажного производства СПГ характеризуются высокой пожаро- и взрывоопасностью. Можно выделить следующие проблемы при проектировании и эксплуатации криогенных технологических трубопроводов: стесненные условия размещения на общей эстакаде; значительные протяженность и диаметр; большой объем опасных веществ; возможные пересечения с железными и автомобильными дорогами, сближения с населенными пунктами и инфраструктурой морского порта, близлежащих предприятий, отдельными зданиями и сооружениями (таможенных и пограничных служб). Разгерметизация криогенных трубопроводов для перекачки СПГ может привести к возникновению пожаров и взрывов, поэтому обеспечение безопасности на объектах его хранения является ключевой задачей.

В данном разделе будут рассмотрены вопросы безопасности при перекачке СПГ по криогенным технологическим трубопроводам.

7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.1.1. Социальные трудовые нормы правового законодательства

Согласно ГОСТ Р 56352 – 2015 [57] ВРД 39-1.10-064-2002 [81] к обслуживанию трубопроводных систем и оборудования для перекачки СПГ допускаются лица достигшие восемнадцатилетнего возраста, медкомиссию и не имеющие противопоказаний к этой работе, обученные по специальной программе и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
Разраб.		Безносов А.А.		15.06	Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.		15.06			65	112
Консульт.		Фех А.И.				НИ ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.		15.06				

Все лица, допущенные к обслуживанию криогенного оборудования, должны пройти инструктаж по противопожарной безопасности.

Наиболее масштабное производство и хранение СПГ осуществляется для разработки шельфовых газовых месторождений Крайнего Севера, работа на которых по большей части (при значительном удалении места работы от места постоянного проживания работников) предусмотрена вахтовым методом. Регулирование труда лиц, работающих вахтовым методом, осуществляется согласно статье 147 ТК РФ [82].

Работники, привлекаемые к работам вахтовым методом, в период нахождения на объекте производства работ проживают в специально создаваемых работодателем вахтовых поселках, либо в приспособленных для этих целей и оплачиваемых за счет работодателя общежитиях или иных жилых помещениях.

Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха и не превышающий одного месяца. В исключительных случаях на отдельных объектах продолжительность вахты может быть увеличена работодателем до трех месяцев в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ [83].

Работникам, выезжающим для выполнения работ вахтовым методом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности из других районов устанавливается районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки к заработной плате, а также предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в порядке и на условиях, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера (16 календарных дней).

Работы, связанные с продувкой, захолаживанием криогенных трубопроводов, относятся к газоопасным, в соответствии с ТОО Р-112-17-95 [84].

					Социальная ответственность	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рабочий персонал, в соответствии с федеральным законом от 28.12.13 № 426 – ФЗ «О специальной оценке условий труда», ст. 147 ТК РФ и ст. 117 ТК РФ [82], получает надбавку к заработной плате в размере не менее 4% от оклада и дополнительный оплачиваемый отпуск в размере 7 календарных дней, как работники занятые на работах с вредными или опасными условиями труда. Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются работодателем с учетом мнения представительного органа работников в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ [83].

В целях обеспечения прав и свобод человека и гражданина работодатель и его представители при обработке персональных данных работника обязаны соблюдать общие требования статьи 86 ТК РФ [85].

На работах с вредными условиями труда работникам выдаются бесплатно по установленным нормам молоко или другие равноценные пищевые продукты согласно ТК РФ статье 222. Всех работающих с СПГ администрация объекта должна обеспечить спецодеждой, спецобувью и средствами защиты органов дыхания и глаз согласно [57] и [81].

7.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Проектирование, изготовление, монтаж, эксплуатация, модернизация, ремонт и консервация технологических трубопроводов комплекса СПГ следует осуществлять в соответствии с требованиями нормативных документов по промышленной безопасности в соответствии с ГОСТ Р 56352-2015 [57].

При подключении нескольких аппаратов к общему коллектору необходимо предусматривать отключающие устройства на каждом трубопроводе-отводе к аппарату.

Расстояние от зданий, сооружений и других объектов до межцеховых технологических трубопроводов следует принимать с учетом установленных требований к проектированию генеральных планов промышленных

					Социальная ответственность	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

предприятий, технологических стальных трубопроводов в соответствии с ГОСТ Р 56352-2015 [57].

7.2. Производственная безопасность

Рассмотрим основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при перекачке СПГ по криогенным технологическим трубопроводам в таблице 20.

Таблица 20 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при хранении СПГ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативное-технические документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением			+	ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [86].
2. Пожаровзрывоопасность	+	+	+	СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [87].
3. Пониженная температура поверхностей оборудования			+	
4. Образование двухфазного потока			+	
5. Отклонение показателя микроклимата на открытом воздухе	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Санитарные правила и нормы. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [88].
7. Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны			+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [89].
8. Утечки газа в атмосферу			+	ГОСТ 12.1.007-76 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [90]. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [91].
9. Повреждения в результате контакта с животными, насекомыми, пресмыкающимися		+	+	ГОСТ 12.1.008-76 Межгосударственный стандарт межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Биологическая безопасность. Общие требования [92].

7.2.1. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по снижению уровня их воздействия

					Социальная ответственность	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассмотрим вредные и опасные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при эксплуатации хранилищ СПГ, а также нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение или устранение этих факторов.

Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

Для обеспечения безопасной работы технологические трубопроводы должны быть оснащены следующими устройствами [81]:

— Согласно на участках трубопроводов СПГ, между отсекающими задвижками, следует устанавливать предохранительные клапаны.

— Для снятия температурных напряжений, возникающих в трубопроводах транспортирующих СПГ, пары СПГ и хладагенты, следует предусматривать компенсаторы, соответствующие условиям работы с СПГ при температуре до минус 162°C.

— Внутренние и наружные технологические трубопроводы следует прокладывать надземно на опорах.

Пожаровзрывоопасность

К факторам пожаро- и взрывоопасности на объектах СПГ относятся наличие легковоспламеняющихся газов и жидкостей, кислорода, а также источников возгорания во время перевалки СПГ, и/или утечек и разливов легковоспламеняющихся веществ. К потенциальным источникам возгорания относятся искры, возникающие при скоплении электростатических зарядов, молниевые разряды и открытое пламя.

Аварийная утечка СПГ может привести к образованию слоя испаряющейся жидкости, следствием чего может стать возгорание этой жидкости либо распространение облака природного газа в результате её испарения.

Категорирование помещений, зданий и наружных технологических установок по взрывопожарной и пожарной опасности следует осуществлять в соответствии с требованиями СП 12.13130.2009 [93].

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Теплоизоляционные конструкции должны отвечать требованиям подраздела 6.5 СП 4.13130.2013 [94]. Указанные теплоизоляционные конструкции должны относиться к группе "не распространяющие пламя" по ГОСТ Р 53327-2009 [95].

На объектах СПГ необходимо применять следующие особые меры.

Соблюдать правила безопасности при наливке СПГ для транспортировки и сливе доставленного СПГ.

Подготовка официального плана действий в пожароопасных ситуациях с обеспечением ресурсами, необходимыми для выполнения этого плана, и организацией обучения.

Организация подготовки по пожарной безопасности и ответным мерам в рамках прохождения персоналом инструктажа и подготовки по вопросам охраны труда и техники безопасности, включая обучение пользованию оборудованием пожаротушения и методам эвакуации с организацией расширенного курса обучения пожаротушению для специальной пожарной команды.

Защита от возможных источников возгорания включает надежное заземление с целью предотвращения скопления электростатических зарядов и молниевых разрядов, использование конструктивно безопасных электрических установок и искробезопасных инструментов, введение системы разрешений на производство любых огневых работ и обязательного порядка их производства во время проведения работ по техническому обслуживанию.

Пониженная температура поверхностей оборудования

Во время хранения и перевалки СПГ работники могут контактировать со сверхнизкотемпературным продуктом. Установленное на объектах оборудование, которое может явиться фактором риска с точки зрения безопасности труда ввиду низкой температуры, следует своевременно выявлять и снабжать соответствующей защитой от случайного контакта

					Социальная ответственность	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

работников с ним. Для работников следует организовать инструктаж по риску контакта с холодной поверхностью (например, по отморожению) и, по мере необходимости, обеспечивать их средствами индивидуальной защиты (СИЗ) (например, перчатками, изолирующей одеждой).

Образование двухфазного потока

Особенность трубопроводного транспорта сжиженных газов – зависимость транспортируемой среды от характера изменения давления и температуры по длине трубопровода. Если давление в трубопроводе упадет ниже давления насыщения сжиженного газа при данной температуре, то возможен сценарий закипания жидкости с образованием паровой фазы и заполнением ею части сечения трубопровода, что может привести к резкому снижению пропускной способности трубопровода и повышению внутреннего давления [61].

Важным критерием обеспечения безопасности данных трубопроводов является правильный выбор изоляционного покрытия.

Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе

В России преимущественно заводы и хранилища для СПГ устанавливаются в северных районах. Нормирование параметров климата на открытых площадках не производится, но определяются конкретные мероприятия по снижению неблагоприятного воздействия их на организм рабочего. Работающие на открытой территории в зимней период года в каждом из климатических регионов должны быть обеспечены спецодеждой с теплозащитными свойствами (брюки и куртка), а также защитными масками для лица. Для каждого климатического пояса и региона при определенной температуре воздуха и скорости ветра в холодное время работы приостанавливаются.

Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию доврачебной помощи.

Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны

					Социальная ответственность	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м³, для природного газа ПДК равно 300 мг/м³.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать шланговым изолирующим противогазом, со страховочным поясом с крестообразными лямками и сигнальной веревкой.

Утечки газа в атмосферу

В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 [96] ПГ - вещество 4 класса опасности, ПДК - 300 мг/м³ в пересчете на углерод по ГОСТ 12.1.005 [97], ПДК для жилых массивов: среднесуточная - 1,5 мг/м³; разовая - 5 мг/м³. В организме человека ПГ не накапливается.

После сжижения природного газа, во время хранения СПГ, наблюдаются выбросы паров метана, известных под названием «отпарного газа» (ОГ). ОГ следует собирать с помощью соответствующей системы рекуперации паров. На заводах СПГ пары следует возвращать в установки сжижения либо использовать на заводе как топливо; на регазификационных заводах собранные пары следует возвращать в установки регазификации с последующим использованием на заводе в качестве топлива, либо сжатием и отправкой потребителям или в газопровод, либо факельным сжиганием.

Повреждения в результате контакта с животными, насекомыми, пресмыкающимися

В летнее время года работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены за счет предприятия средствами индивидуальной защиты от гнуса и энцефалитного клеща (крема, аэрозоли, москитная сетка). В

					Социальная ответственность	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

некоторых районах возможна встреча с дикими хищниками (например, медведь), ядовитыми животными (например, змеи). В этих случаях работники должны следовать инструкциям поведения при встрече с такими животными.

7.3. Экологическая безопасность

7.3.1. Анализ возможного объекта исследования на окружающую среду

С экологической точки зрения природный газ имеет безусловные преимущества перед другими ископаемыми видами топлива, поскольку при его сжигании в атмосферу выбрасывается значительно меньше CO₂, SO_x, NO_x и твердых частиц. Поскольку СПГ состоит в основном из метана, то актуальным является вопрос о последствиях выбросов в атмосферу парниковых газов и влиянии производства и транспортировки СПГ на глобальное изменение климата [98].

Влияние на биосферу

На стадии строительства предприятия по сжижению газа вред наносят различные виды осуществляемой деятельности: расчистка участка, земляные работы, обустройство проездов для движения автотранспорта и техники, загрязнение почвы и водных объектов возможными утечками горюче-смазочных материалов и перевозимых химикатов.

В результате происходит трансформация природных экосистем и утрата природных местообитаний флоры и фауны, вне зависимости от метода эксплуатации и способа рекультивации этих земель.

Влияние на атмосферу

При утечке из сосудов, работающих под давлением, СПГ будет распыляться в виде струйных потоков в атмосфере с одновременным дросселированием (расширением) и испарением. Этот процесс сопровождается интенсивным перемешиванием паров СПГ с окружающим воздухом. Первоначально большая часть СПГ в паровом облаке будет

					Социальная ответственность	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

содержаться в виде аэрозоля. В результате дальнейшего перемешивания СПГ с воздухом произойдет полное испарение мелких капель жидкости.

Влияние на гидросферу

В ходе гидравлических испытаний емкостей для хранения СПГ образуются значительные объемы сточных вод, которые попадая в поверхностные водоемы, даже нормативно очищенные, могут оказать негативное воздействие на водную биоту и нанести вред пользователям водных ресурсов.

Влияние на литосферу

Термическое воздействие на грунты приводит к изменению криогенных режимов многолетнемерзлых пород как на поверхности, так и на глубине. В результате может повышаться температура грунтов и происходить частичное таяние вечной мерзлоты.

При попадании СПГ на землю (при аварийном разливе) СПГ быстро испаряется, что, при отсутствии возгорания, практически исключает долговременные экологические воздействия.

7.3.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Защита биосферы

Для того чтобы обеспечить более высокий экологический уровень природопользования, позволяющий снизить ущерб животному миру, необходимо применение щадящих технологий при строительстве и эксплуатации хранилищ СПГ и прогрессивных методов пользования ресурсами фауны. Например, ограничить применение техники с большим удельным давлением на грунт, разрушающим почвенный покров, а также подземные ходы, норы, убежища животных.

Защита атмосферы

Методы контроля и сокращения неорганизованных выбросов следует рассматривать и внедрять в процессе проектирования, эксплуатации и технического обслуживания сооружений. При выборе подходящих клапанов,

					Социальная ответственность	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

фланцев, арматуры, уплотнений и сальников необходимо учитывать требования безопасности и соответствия наряду с их способностью снижать утечки газа и предупреждать неорганизованные выбросы в атмосферу. Кроме того, необходимо осуществлять программу выявления утечек и их устранения.

Защита гидросферы

Запрещается направление стоков СПГ в водоёмы. У подошвы защитного ограждения в месте откачки воды, должен быть устроен водосборник (приямок), оборудованный съёмным насосом для откачки дождевых и талых вод. Отвод воды с помощью сливных трубопроводов, проходящих сквозь защитное ограждение, не допускается.

Защита литосферы

Поверхность грунта, ограничиваемая кольцевым ограждением, а также внутренняя поверхность ограждения должны быть покрыты слоем негорючей и непроницаемой для СПГ теплоизоляции с необходимыми средствами ее гидрозащиты.

Для снижения последствий разлива СПГ из надземного резервуара в пределах защитного ограждения следует предусматривать возможность направленных стоков СПГ с мест его потенциальных утечек по открытым дренажным лоткам в специальный приямок - ловушку, расположенный у края площадки.

7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

7.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования

Анализ реальных аварий, связанных с криогенными технологическими трубопроводами, выявил следующие основные опасности и возможные сценарии аварий

- Разлив СПГ на водную и почвенную поверхность;
- Пожар пролива;

					Социальная ответственность	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

— Воспламенение паров СПГ;

Взрыв паров СПГ при нахождении трубопроводов в ограниченном пространстве.

Исходя из особенностей конструкций криогенных технологических трубопроводов, все опасности делят на опасности, связанные с внешними воздействиями и внутренними.

К внешним воздействиям, способным повлиять на прочностные характеристики внешнего корпуса, следует отнести сейсмическое воздействие, гидродинамическое воздействие (разрушительного воздействия волн цунами), аэродинамическое воздействие (поднятыми с поверхности земли штормовым ветром), механическое воздействие, воздействие ударных волн при аварии на соседних объектах, воздействия террористического характера, термическое воздействие (в случае возникновения пожара на трубопроводных эстакадах). Рассматривая внутренние воздействия, можно выделить следующее: криогенные трубопроводы СПГ эксплуатируются в циклических режимах при значительных термических и гидравлических нагрузках, оказывающих непосредственное влияние на показатели конструктивной надежности и безопасности.

7.4.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

К активным способам обеспечения безопасности относятся управляющие системы обеспечения безопасности, состоящие из сенсоров (датчиков), управляющих устройств и исполнительных элементов. Защитная функция этих способов безопасности зависит от действий оператора либо управляющего устройства.

Следует осуществлять контроль за герметичностью технологического оборудования, трубопроводов, арматуры, где возможны утечки взрывопожароопасных паров и газов. Контроль за загазованностью

					Социальная ответственность	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

производственных помещений следует осуществлять посредством газоанализаторов с сигнализацией и включением аварийной вентиляции.

Технологические объекты, помещения производственного, административно-хозяйственного и бытового назначения и места постоянного или временного пребывания людей в пределах опасной зоны оснащают эффективными системами оповещения персонала об аварийной обстановке.

Планы ликвидации аварии должны предусматривать меры по выводу в безопасное место людей, не связанных непосредственно с ликвидацией аварии. Эксплуатационный персонал должен пройти подготовку и аттестацию в области промышленной безопасности в установленном порядке.

Вывод

В данном разделе ВКР был изучен вопрос социальной ответственности, в котором проанализированы правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, а также вопросы производственной и экологической безопасности при технологических процессах на объектах трубопроводных систем СПГ. Также были рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях с обоснованием мероприятий по защите окружающей среды и предотвращению ЧС на объектах трубопроводных систем СПГ.

Анализ нормативно-технической документации показал, что главной из причин ЧС криогенных технологических трубопроводов являются образования двухфазных потоков, вызванных теплопритоком из окружающей

					Социальная ответственность	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Цель данной работы оценка и влияние типа изоляционного материала на тепловые потери.

8.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности

8.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Исследуемые изоляционные материалы предназначены для теплоизоляции криогенных технологических трубопроводов на заводах по сжижению природного газа. Сравнение теплоизоляционных материалов, является немаловажной частью, т.к. выбор оптимального теплоизоляционного покрытия может существенно снизить затраты из бюджета компании, а также повысить эффективность на всех этапах производства.

					Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Безносов А.А.		15.06	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.		15.06			78	112
Консульт.		Клемашева Е.И.				НИ ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.		15.06				

Рынок можно сегментировать по категориям трубопроводов и типам изоляционных материалов (таблица 21).

Таблица 21 – Карта сегментирования рынка

	Тип изоляционных материалов		
	■ (Экранно-вакуумная)	■ (на основе аэрогеля)	■ (Вспененный полиэтилен)
Криогенные межцеховые трубопроводы			
Подводные Криогенные межцеховые трубопроводы			

■ - «■»

■ - «■»

На сегодняшний день в мире существует много проектов по сжижению природного газа и соответственно каждый проект обладает своей уникальностью по наличию типа изоляции для криогенных трубопроводов. По карте сегментирования видно, что проект «■» не использует криогенные трубопроводы подводного типа, но зато преимущественно использует технологии по изоляции надземных криогенных трубопроводов с экранно-вакуумным типом.

8.1.2. Анализ конкурентных технологических решений

Проанализируем три типа изоляционных материалов: ■ (Экранно-вакуумная), ■ (на основе аэрогеля), ■ (Вспененный полиэтилен).

Оценочная карта, в которой отображены результаты анализа, представлена в виде таблицы 22.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i$$

26)

K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Таблица 22 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		$B_{п}$	$B_{п1}$	$B_{п2}$	$K_{п}$	$K_{п1}$	$K_{п2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Температурный интервал эксплуатации	0,12	5	3	2	0,6	0,36	0,24
2. Плотность	0,05	2	4	5	0,1	0,2	0,25
3. Теплопроводность	0,19	5	5	4	0,95	0,95	0,76
4. Водопоглощение	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
5. Прочность на сжатие	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
6. Горючесть	0,10	1	4	4	0,1	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность	0,08	4	5	5	0,32	0,4	0,4
2. Цена	0,11	3	5	4	0,33	0,55	0,44
3. Перспективность использования	0,09	3	5	5	0,27	0,45	0,45
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	5	5	0,32	0,4	0,4
5. Срок выхода на рынок	0,06	3	4	5	0,18	0,24	0,3
Итого:	1	38	50	47	3,56	4,55	4,24

$B_{п}$ - █████ (Вспененный полиэтилен)

$B_{п2}$ - █████ (Экранно-вакуумная)

$B_{п3}$ - █████ (на основе аэрогеля)

По таблице 22 видно, что наиболее эффективной тепловой изоляцией является MLI (Экранно-вакуумная). Это связано с тем, что данный материал наиболее доступен по цене, обладает низкой теплопроводностью, что является наиболее важным при выборе материала, также данный материал имеет высокую прочность на сжатие. Данный материал имеет и свои недостатки, но в рамках данного анализа этот материал имеет преимущество.

8.1.3. SWOT – анализ

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Результаты SWOT-анализа исследования, проведенного в рамках данной выпускной квалификационной работы, представлены в таблице 23.

Таблица 23 - Матрица SWOT

	Сильные стороны материала: С1. Большая перспектива развития С2. Востребованность материалов проектами СПГ С3. Низкая стоимость материала С4. Долгий срок службы С5. Высокий уровень технических параметров	Слабые стороны материала: Сл1. Высокая цена исследований параметров материала Сл2. Труднодоступность необходимых материалов
Возможности: В1. Отсутствие массового производства аналогов В2. Развитие технологий в данной отрасли В3. Возможность взаимозаменяемости типа материалов В4. Возможность изготавливать материалы в РФ	1. Привлечение средств государства для введения новой технологии 2. Импортзамещение и возможность создавать конкурентоспособные материалы на рынке	1. Оптимизация технологии изготовления материалов 2. Отбор высококвалифицированных специалистов 3. Сотрудничество с иностранными компаниями

Окончание таблицы 22

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии; У2. Рост стоимости импортных материалов; У3. Уменьшение объёма инвестиций в проекты СПГ; У4. Экономическая ситуация в стране; У5. Появление новых конкурентных разработок	1. Недостаток финансирования простимулирует качество производимого изделия, что продлит срок службы. 2. Страны, заинтересованные в данной разработке, могут покрыть недостаток финансирования	1. Создание массового производства материалов 2. Развитие исследований для возможности применения новых технических решений для улучшения параметров 3. Развитие отечественных технологий и производства
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Анализируя результаты SWOT-анализа, можно утверждать, что реализация представленных возможностей позволяет выгодно реализовать сильные стороны и уменьшить влияние слабых.

8.2. Планирование научно-исследовательских работ

8.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	3	Определение возможностей и оценка имеющихся ресурсов	Руководитель
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, исполнитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель
	7	Компьютерное моделирование	Исполнитель
	8	Сопоставление результатов моделирования с теоретическими исследованиями	Исполнитель

Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Исполнитель
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Исполнитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	11	Выбрана методика расчета толщины изоляционного материала, обеспечивающей допустимый уровень потерь на испарение	Исполнитель
	12	Расчет толщины изоляции	Исполнитель
	13	Оценка эффективности применения изоляционного материала	Исполнитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	14	Подготовка ВКР	Исполнитель

8.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости

используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (27)$$

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Также вычисляется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i}, \quad (28)$$

$T_{p\ i}$ – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов представлены в таблице 23.

8.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формул:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (29)$$

T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22 \quad (30)$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,47$$

$T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{кал}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения приведены в таблице 25.

Таблица 25 – График проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	T_{pi} , раб.дн.	T_{ki} , кал.дн.				
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ож}$, чел-дни									
	1	2	3	1	2	3	1	2	3				1	2	3	1
Утверждение технического задания	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Руководитель	1	1	1	1	1	1

Окончание таблицы 25

Подбор и изучение материалов по те	12	13	14	20	21	22	15	16	17	Исполнитель	15	16	17	22	23	24
Определение возможностей и оценка имеющихся ресурсов	1	1	1	1	2	1	1	1	1	Руководитель, исполнитель	1	1	1	1	1	1
Выбор направления исследований	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Руководитель	1	1	1	1	1	1
Календарное планирование работ по тем	1	1	1	2	1	1	1	1	1	Руководитель, исполнитель	1	1	1	1	1	1
Проведение теоретических расчетов и обоснований	6	4	7	12	7	15	8	5	10	Исполнитель	8	5	10	12	7	14
Компьютерное моделирование	4	6	5	9	10	9	6	8	7	Исполнитель	6	8	7	9	12	10
Сопоставление результатов моделирования с теоретическими исследованиями	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Исполнитель	1	1	1	1	1	1
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	1	3	5	2	2	4	1	Руководитель, исполнитель	2	4	1	3	5	1
Определение целесообразности проведения ОКР	2	3	3	3	6	5	2	4	4	Руководитель, исполнитель	2	4	4	3	6	6
Сравнение изоляционных материалов	11	12	10	13	15	12	12	13	11	Исполнитель	17	20	16	25	30	24
Выбор и расчет теплоизоляции	12	14	13	17	20	19	14	16	15	Исполнитель	21	24	23	30	35	34
Оценка эффективности рассчитываемого материала	1	1	1	1	2	1	1	1	1	Исполнитель	1	2	1	1	3	1
Подготовка ВКР	26	24	25	34	30	32	29	26	28	Исполнитель	43	39	41	63	57	60

Основываясь на полученной таблице, строим календарный план-график для первого варианта исполнения (таблица 26).

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 26 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Содержание работ	Исполнители	T_{ki}					
				февр.	март	апрель	май	ию
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2
2	Подбор и изучение материалов по те	Исполнитель	22					
3	Определение возможностей и оценка имеющихся ресурсов	Руководитель, исполнитель	1					
4	Выбор направления исследований	Руководитель	1					
5	Календарное планирование работ по тем	Руководитель, исполнитель	1					
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель	12					
7	Компьютерное моделирование	Исполнитель	9					
8	Сопоставление результатов моделирования с теоретическими исследованиями	Исполнитель	1					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Исполнитель	3					
10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, исполнитель	3					
11	Сравнение изоляционных материалов	Исполнитель	25					
12	Выбор и расчет теплоизоляции	Исполнитель	30					
13	Оценка эффективности рассчитываемого материала	Исполнитель	1					
14	Подготовка ВКР	Исполнитель	63					

8.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Для формирования бюджета НТИ используем следующую группировку затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НИ

Для проведения научного исследования необходим компьютер, с установленными специальными программами и с соответствующим программным обеспечением

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i N_{расх\ i} = 45000 \cdot 1 + 2500 \cdot 1 = 47500 \text{ руб.} \quad (31)$$

T_m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты пришлись на специальное оборудование и программное обеспечение.

Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 27.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

Таблица 27 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Зарботная плата, приходящаяся на один чел.- раб.дн., руб			Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Руководитель	10	15	11	1474,2	1474,2	1474,2	14742	22113	16216,2
2	Дипломник	171	181	177	700	700	700	119700	126700	123900
	Итого:							134442	148813	140116,2

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (32)$$

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Для руководителя: $Z_{\text{осн}} = 1474,2 \cdot 10 = 14742$ руб.

Для дипломника: $Z_{\text{осн}} = 700 \cdot 171 = 119700$ руб.

Средняя заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M \cdot k_p}{F_d} \quad (33)$$

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

k_p – районный коэффициент;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 28 – Годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные)	66	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	247

Для руководителя: $Z_{\text{дн}} = \frac{24601 \cdot 11,2 \cdot 1,3}{243} = 1474,2$ руб.

Для исполнителя: $Z_{\text{дн}} = \frac{12792 \cdot 10,4 \cdot 1,3}{247} = 700$ руб.

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} \quad (34)$$

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной.

Для руководителя: $Z_{\text{доп}} = 14742 \cdot 0,14 = 2064$ руб.

Для исполнителя: $Z_{\text{доп}} = 119700 \cdot 0,14 = 16758$ руб. Расчет для каждого варианта исполнения представлен в таблице 29.

Таблица 29 - Расчет дополнительной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Дополнительная заработная плата, руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Руководитель	2064	3095,8	2270,3
2	Исполнитель	16758	17738	17346
Итого:		18822	20833,8	19616,3

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (35)$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Таблица 30 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	14742	22113	16216,2	2064	3095,8	2270,3
Исполнитель	119700	126700	123900	16758	17738	17346
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30,2%					
Итого:	46285	51233	48239			

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}})k_{\text{нр}} \quad (36)$$

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{\text{накл1}} = (47500 + 134442 + 18822 + 46285) \cdot 0,16 = 39527,8 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{накл1}} = (47500 + 148813 + 20833 + 51233) \cdot 0,16 = 42940,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{накл1}} = (47500 + 140116 + 19616 + 48239) \cdot 0,16 = 40875,4 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 31.

Таблица 31 – Расчет бюджета затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.1	Исп.3
1. Затраты на специальное оборудование и программное обеспечение	47500	47500	47500
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	134442	148813	140116

Окончание таблицы 31

3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18822	20833	19616
4. Отчисления во внебюджетные фонды	46285	51233	48239
5. Накладные расходы	39527,8	42940,6	40875,4
6. Бюджет затрат НИИ	286576,8	311369,6	296346,4

Таким образом, общий бюджет затрат НИИ составил 286576,8 руб.

8.3. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности связано с нахождением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (37)$$

$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения

научноисследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{286576,8 \text{ руб}}{311369,6 \text{ руб}} = 0,93 \quad (38)$$

Для оценки интегрального показателя ресурсоэффективности вариантов реализации научного исследования используется формула:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (39)$$

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта реализации научного исследования;

a_i - весовой коэффициент i -го варианта реализации научного исследования;

b_i - бальная оценка i -го варианта реализации научного исследования.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 32.

Таблица 32 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителям)	0,15	4	3	4
3. Материалоемкость	0,3	5	4	3
4. Энергосбережение	0,25	5	5	5
5. Безопасность	0,2	4	4	5
	1	23	21	21

Основываясь на данных таблицы показатели ресурсоэффективности текущего проекта и двух других исполнений следующие:

$$l_{p-исп.1} = 4,65; l_{p-исп.2} = 4,2; l_{p-исп.3} = 4,15; \quad (40)$$

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$l_{исп.1} = \frac{l_{p-исп.1}}{l_{финр}} \quad (41)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего материала и аналогов позволит определить сравнительную эффективность (таблица 12).

Сравнительная эффективность:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{l_{исп.1}}{l_{исп.2}} \quad (42)$$

Таблица 33 - Сравнительная эффективность

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,93	1	0,95
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,2	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	4,99	4,2	4,36
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,19	1	1,14

Как видно из таблицы, первый вариант исполнения научно-исследовательского проекта выгоднее остальных двух как с финансовой стороны, так и со стороны ресурсоэффективности.

Вывод

Выполнив данную работу, выявили наиболее конкурентоспособный материал, оценили его сильные и слабые стороны и подвели общий итог по исследуемым теплоизоляционным покрытиям. Согласно проведенным исследованиям, бюджет включает в себя учет всех ранее рассчитанных необходимых затрат, для проведения научных исследований. Согласно данным из таблицы 30 бюджетный фонд, сформированный для проведения научно-исследовательской работы, составил 286576,8 руб.

Заключение

В результате выпускной квалификационной работы:

1. Выполнен аналитический обзор конструктивных особенностей и материалов криогенных технологических трубопроводов и хранилищ для сжиженного природного газа.
2. Определены группы факторов, влияющие на технологии эксплуатации криогенных технологических трубопроводов.
3. Выполнен анализ нормативно-технической документации в области трубопроводной транспортировки и стационарного хранения сжиженного природного газа
4. Проведен анализ методик для расчета характеристик теплоизоляционных покрытий.
5. Произведен расчет толщины теплоизоляционных покрытий по заданному объему потерь в сутки.

Толщина теплоизоляционного покрытия для обеспечения 0,05% потерь составляет:

- [] (вспененный синтетический каучук) [] м;
- [] (Вспененный полиэтилен) [] м;
- [] (Экранно-вакуумная) [] м;
- [] (На основе аэрогеля) [] м;
- [] (Пенополиуретан) [] м;
- [] (На основе аэрогеля) [] м.

6. В соответствии с проведенным литературным обзором и полученными значениями толщин, предполагается использовать теплоизоляционные покрытия «[]», «[]».

7. Произведен расчет толщины стенки криогенного

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа			
Разраб.		Безносов А.А.		15.06	Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.		15.06			94	112
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.		15.06				

технологического трубопровода, изготовленного из стали марки
12Х18Н10Т.

					Заключение	Лист
						95
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список использованных источников

1. Федорова, Е.Б. Комплексное научно-техническое обоснование производства сжиженного природного газа. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2017 – 159 с.

2. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года: официальный сайт. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения 22.09.20). – Текст: электронный.

3. 7-ой ежегодный международный СПГ Конгресс Россия: официальный сайт. URL: <https://www.lngrossiacongress.com/> (дата обращения 03.01.2021). – Текст: электронный.

4. VYGON Consulting. Мировой рынок СПГ: Иллюзия избытка. URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/542/vygon_consulting_lng_world_balance_2018.pdf (дата обращения 05.01.2021). – Текст: электронный.

5. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы / Б.С. Рачевский. – М.: «НЕФТЬ и ГАЗ», 2009. – 640 с.

6. Фёдорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. - М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. - 159 с.

7. Лесконог А.А., Чуркин Г.Ю. Нормативное обеспечение и проблемные вопросы промышленной безопасности криогенных трубопроводов отгрузки сжиженного природного газа. URL: <http://vestigas.ru/sites/default/files/attachments/vgn-2-34-2018-135-140.pdf> (дата обращения 05. 02. 2021). – Текст: электронный.

					Выбор оптимального теплоизоляционного покрытия криогенных технологических трубопроводов для транспортировки сжиженного природного газа						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Список использованных источников						
Разраб.		Безносов А.А.		15.06					Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.		15.06						96	112
Консульт.									НИ ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.		15.06							

8. Вовк, В.С. Крупномасштабное производство сжиженного природного газа: учеб. пособие для вузов / Вовк В.С., Никитин Б.А., Новиков А.И., Гречко А.Г., Удалов Д.А. - М.: ООО "Издательский дом Недра", 2011. - 243 с.

9. 2020 World LNG Report. URL: <https://igu.org/event-list/lng2022/> (дата обращения 12.01.2021). – Текст: электронный.

10. Федорова, Е.Б. Комплексное научно-техническое обоснование производства сжиженного природного газа. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2017 – 159 с.

11. LNG Tanker safety. URL: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/tanker-lng-safety.htm> (дата обращения 13.01.2021). – Текст: электронный.

12. Marineinsight. URL: <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/lng-tankers-different-types-and-dangers-involved/> (дата обращения 05.01.2021). – Текст: электронный.

13. ScienceDirect. Membrane Tank. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/membrane-tank> (дата обращения 06.01.2021). – Текст: электронный.

14. Демьянов А.А., Блинов С.А., Аверкиева Н.В., Шевченко П.А. Способы транспортировки сжиженного природного газа. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36487616_80106179.pdf (дата обращения 29.01.2021). – Текст: электронный.

15. Приказ Минтранса РФ от 08.08.1995 N73 (ред. от 14.10.1999) Об утверждении Правил перевозки опасных грузов автомобильным транспортом. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mintransa-rf-ot-08081995-n-73/> (дата обращения 01.02.2021). – Текст: электронный.

16. ГОСТ 21561 – 2017 Автоцистерны для транспортирования сжиженных углеводородных газов на давление до 1,8 Мпа. Технические требования и методы испытаний (с Поправкой). URL:

					Список использованных источников	Лист
						97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

<http://docs.cntd.ru/document/1200159799> (дата обращения 03.02.2021). – Текст: электронный.

17. КРИОГЕНМАШ: официальный сайт. URL: <https://www.cryogenmash.ru/catalog/transportnye-sistemy/> (дата обращения 03.02.2021). – Текст: электронный.

18. УРАЛКРИОМАШ: официальный сайт. URL: <http://www.cryont.ru/production/> (дата обращения 04.02.2021). – Текст: электронный.

19. ГОСТ Р 56021 – 2014. Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок. Технический условия (Переиздание). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200110779> (дата обращения 05.01.2021). – Текст: электронный.

20. ГОСТ 27577 – 2000. Газ природный топливный компримированный для двигателей внутреннего сгорания. Технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200017921> (дата обращения 15.02.2021). – Текст: электронный.

21. Б.С. Рачевский. Технико-экономическая оценка проектов производства потребления сжиженного природного газа//Вестник газовой науки № 2 (34) / 2018

22. Бармин И.В., Кунис И.Д. Б254 Сжиженный природный газ вчера, сегодня и завтра / Под ред. А.М. Архарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.

23. LNG equipment. <https://www.chartindustries.com/Energy/LNG-Solutions-Equipment/Storage> (дата обращения 13.02.2021). – Текст: электронный.

24. ВЗМ Владимирский завод металлорукавов: официальный сайт. – Владимир, 2021. – URL: <https://www.vzmr.ru/produktsiya/metallorukava->

					Список использованных источников	Лист
						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

vysokogo davleniya/metallorukava-s-gaykoy-rot/ (дата обращения 01.03.2021). – Текст: электронный.

25. Р 585 – 85 Рекомендации по проектированию газопроводов, транспортирующих охлажденный газ: дата введения 1986-06-01. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293815/4293815463.htm> (дата обращения 01.03.2021). Текст: электронный.

26. ГОСТ 32569 – 2013 Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах (с Поправкой). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200111138> (дата обращения 04.03.2021). – Текст: электронный.

27. ГОСТ 32388-2013. Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия: дата введения 2014-08-01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200110068> (дата обращения 07.03.2021). Текст: электронный.

28. ECOTECO. Системы долговременного хранения и транспортировки сжиженного природного газа: официальный сайт. – URL: <https://ecoteco.ru/?id=296> (дата обращения 06.03.2021). Текст: электронный.

29. Aspen Aerogels, inc.: официальный сайт. – URL: <https://www.aerogel.com/> (дата обращения 05.04.2021). Текст: электронный.

30. CRYOFLEX Nexans: официальный сайт. URL: <http://www.gasequip.ru/upload/uf/8e3/8e320281bca66424a25ec1cc2097fa88.pdf> (дата обращения 08.03.2021). Текст: электронный.

31. Кряковкин В. П., Клеблеев Т. И., Ленский А. Б. Криогенные трубопроводы: от разработки до ввода в эксплуатацию //Технические газы. – 2014. – №. 4. – С. 67-72. URL: <http://cryoservice.ru/wp-content/uploads/2015/02/truboprovody-statiya.pdf> (дата обращения 09.02.2021). Текст: электронный.

					Список использованных источников	Лист
						99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

32. Иванов Л. В., Анохин А. В. Сравнение теплоизоляционных систем для СПГ-трубопроводов //Инновационное развитие технологий производства СПГ. – 2019. – С. 42-45. URL: <http://npirf.ru/wp-content/uploads/2019/09/Сборник-статей.pdf> (дата обращения 01.04.2021).

Текст: электронный.

33. ГОСТ Р 58027-2017/EN 14620-1:2006 Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных емкостей с плоским дном для хранения охлажденных сжиженных газов с рабочей температурой от 0°С до -165°С: дата введения 2020-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158376> (дата обращения 21.04.2021). –

Текст: электронный.

34. Фасхиммаш/Хранение и перевозка СПГ: официальный сайт. URL: <https://www.fas-him.ru/> (дата обращения 29.05.2021). – Текст:

электронный.

35. Криогенмаш/Каталог продукции: официальный сайт. – Балашиха, 2021. URL: <https://cryogenmash.ru/> (дата обращения 06.03.2021). – Текст:

электронный.

36. GT7/Криогенные стационарные резервуары: официальный сайт. URL: <https://gt7.ru/catalog-tr/spg-lng-gazovozy-zapravochnye-stantsii/> (дата

обращения 09.04.2021). – Текст: электронный.

37. GasEquip/Стационарные криогенные резервуары: официальный сайт. URL: <http://gasequip.ru/market/kreo/117/> (дата обращения 23.04.2021). –

Текст: электронный.

38. Henan Jian Shen/LNG cryogenic tank: официальный сайт. URL: <http://www.china-jianshen.com/cryogenic-tank-series/> (дата

обращения 15.04.2021). – Текст: электронный.

39. GGC/Криогенные жидкости и оборудование: официальный сайт. URL: <https://ggco.org/equipments/cryotanks.html> (дата обращения 18.03.2021). –

Текст: электронный.

					Список использованных источников	Лист
						100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

40. Liming Gas Group/Cryogenic storage tanks for LNG: официальный сайт. URL: http://www.liming-gas.com/c/cryogenic_storage_tanks_for_lng.html (дата обращения 05.02.2021). – Текст: электронный.

41. ГОСТ 5632-2014 Межгосударственный стандарт. Нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки: дата введения 2015-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113778> (дата обращения 6.05.2021). – Текст: электронный.

42. Завод СЕВЕРСТАЛЬ: официальный сайт. – Москва, 2021. URL: https://www.severstal.com/rus/global_contacts/ (дата обращения 12.04.2021). – Текст: электронный.

43. ГОСТ Р 57431-2017. (ИСО 16903:2015) Газ природный сжиженный. Общие характеристики: дата введения 2018-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144948> (дата обращения 21.04.2021). – Текст: электронный.

44. Баранов А.Ю., Соколова Е.В. Хранение и транспортировка криогенных жидкостей. Часть 1: Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 95 с.

45. Безносков А. А. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ИСПАРЕНИЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ПО КРИОГЕННЫМ ТРУБОПРОВОДАМ //Трубопроводный транспорт углеводородов. – 2020. – С. 87-91.

46. Безносков А. А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ ДЛЯ КРИОГЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА //Транспорт и хранение углеводородов. – 2021. – С. 103-104.

47. ГОСТ 30244-94 Межгосударственный стандарт. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть: дата введения 1996-01-01.

					Список использованных источников	Лист
						101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

URL: <https://docs.cntd.ru/document/9056051> (дата обращения 12.03.2021). – Текст: электронный.

48. K-flex Тепловая изоляция криогенного оборудования: официальный сайт. URL: <https://www.k-flex.ru/produkty/teploizolyaciya/k-flex-st> (дата обращения 12.03.2021). – Текст: электронный.

49. Аэрогель – происхождение, характеристики и области применения. URL: <https://nikastroy.ru/aerogel-proishozhdenie-harakteristiki-i-oblasti-primenenia-v-stroitelstve/> (дата обращения 12.03.2021). – Текст: электронный.

50. Joda/Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов: официальный сайт. URL: <https://www.joda-tech.ru/aerogyeli-matyerial/teplovaya-izolyatsiya-tes.html> (дата обращения 12.03.2021). – Текст: электронный.

51. ООО «ТИМ»: официальный сайт. – Санкт-Петербург, 2021. URL: <https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2018/08/07/Алисон%20Аэрогель%20презентация%20тех%20совет.pdf> (дата обращения 28.05.2021). – Текст: электронный.

52. Ленский В., Фисенко О., Курис П. Подводные СПГ-трубопроводы //Offshore (Russia). Трубопроводы. – 2016. – №. 11. – С. 66-71.

53. Поиск патентов Яндекс. URL: <https://yandex.ru/patents?dco=RU&dl=ru&dt=0&dtu=1&dtu=2&s=0&sp=0&spp=10&st=0&text=криогенный%20трубопровод> (дата обращения 15.05.2021). – Текст: электронный.

54. Р 585 – 85. Рекомендации по проектированию газопроводов, транспортирующих охлажденный газ: дата введения 1986.01.01. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293815/4293815463.htm#i605545> (дата обращения 15.05.2021). – Текст: электронный.

55. ГОСТ 32388-2013 Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность и сейсмические воздействия. URL:

					Список использованных источников	Лист
						102
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

<https://docs.cntd.ru/document/1200110068> (дата обращения 15.05.2021). – Текст: электронный.

56. ВНТП 51-1-88. Ведомственные нормы на проектирование установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических хранилищ и газозаправочных станций (Временные): дата введения 1987.08.13 URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200043776> (дата обращения: 28.02.2021). – Текст: электронный.

57. ГОСТ Р 56352-2015. Нефтяная и газовая промышленность. Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа. Общие требования безопасности: дата введения 2015.09.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119073> (дата обращения 16.05.2021). – Текст: электронный.

58. ГОСТ Р 55892-2013. Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа: дата введения 2014.06.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107788> (дата обращения 17.05.2021). – Текст: электронный.

59. СП 326.1311500.2017. Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/557049302> (дата обращения 18.05.2021). – Текст: электронный.

60. СА 03-005-07. Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности: дата введения 2007.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/471811649> (дата обращения 19.05.2021). – Текст: электронный.

61. Лесконог А. А., Чуркин Г. Ю. Особенности и основные проблемы обеспечения промышленной безопасности терминалов сжиженного природного газа //Безопасность труда в промышленности. – 2016. – №. 12. – С. 57-62.

					Список использованных источников	Лист
						103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

62. ГОСТ Р 58027-2017. Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных емкостей с плоским дном для хранения охлажденных сжиженных газов с рабочей температурой от 0°С до -165°С. Часть 1. Общие положения: дата введения: 2020.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158376> (дата обращения 07.05.2021). – Текст: электронный.

63. ГОСТ Р 58028-2017. Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных емкостей с плоским дном для хранения охлажденных сжиженных газов с рабочей температурой от 0°С до -165°С. Компоненты бетона: дата введения 2020.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157958> (дата обращения 06.05.2021). – Текст: электронный.

64. ГОСТ Р 58029-2017. Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных емкостей с плоским дном для хранения охлажденных сжиженных газов с рабочей температурой от 0°С до -165°С. Изоляционные компоненты: дата введения 2020.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157959> (дата обращения 07.05.2021). – Текст: электронный.

65. ГОСТ Р 580230-2017. Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных емкостей с плоским дном для хранения охлажденных сжиженных газов с рабочей температурой от 0°С до -165°С. Испытание, высушивание, очистка и охлаждение: дата введения 2020.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344843> (дата обращения 04.05.2021). – Текст: электронный.

66. ГОСТ Р 58032-2017. Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных емкостей с плоским дном для хранения охлажденных сжиженных газов с рабочей температурой от 0°С до -165°С. Металлоконструкции: <https://docs.cntd.ru/document/556380804> (дата обращения 19.05.2021). – Текст: электронный.

					Список использованных источников	Лист
						104
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

67. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов: дата введения 1999.12.02. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007844> (дата обращения 15.05.2021). – Текст: электронный.

68. СП 61.13330.2021. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 (с Изменением N1): дата введения 2013.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200091050> (дата обращения 03.06.2021). – Текст: электронный.

69. Федорова Е. Б., Кершенбаум В. Я. Анализ современного состояния стандартизации в области сжиженного природного газа //Газовая промышленность. – 2017. – №. 3 (749).

70. NFPA 59A, Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG). URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=59A> (дата обращения: 10.01.2021). – Текст: электронный.

71. ASME B31.3 Process Piping Guide. URL: https://beetleplastics.com/wp-content/uploads/2015/07/process_piping_guide_R2.pdf (дата обращения: 10.01.2021). – Текст: электронный.

72. ASME B31.4 Pipeline transportation systems for liquid hydrocarbons and other liquids. URL: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/asme.b31.4.2002.pdf> (дата обращения: 10.01.2021). – Текст: электронный.

73. BS EN 1473:2007 Installation and equipment for liquefied natural gas – Design of onshore installations. URL: <http://www.golng.eu/files/upload/10.1.1.470.7021.pdf> (дата обращения: 10.01.2021). – Текст: электронный.

					Список использованных источников	Лист
						105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

74. BS EN 1160:1997 Installation and equipment for liquefied natural gas – General characteristics of liquified natural gas. URL: <http://www.cngspw.com/Doc/WebNote/201010/Y2010M10D12H13m37s25/BS20EN201160-199720u6DB2u5316u5929u7136u6C14u7528u8BBEu5907u548Cu88C5u7F6E.u6DB2u5316u5929u7136u6C14u7684u4E00u822Cu6027u80FD.pdf> (дата обращения: 10.01.2021). – Текст: электронный.

75. API 625. Tank systems for refrigerated, liquefied gas storage

76. API 620. Design and Construction of Large Welded Low-Pressure Storage Tanks

77. EN 14620. Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0°C and –165°C.

78. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. второе, Москва, Энергия, 1977. – 344 с.

79. Исаченко В.П. Теплопередача. Учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: «Энергия», 1975. - 488 с.

80. Пирогов С.Ю. Природный газ. Метан: справочник / Пирогов С.Ю., Акулов Л.А., Ведерников М.В., Кириллов Н.Г. – СПб.: НПО "Профессионал", 2006. – 847 с.

81. ВРД 39-1.10-064-2002 Система нормативных документов в газовой промышленности. Ведомственный руководящий документ оборудование для сжиженного природного газа (СПГ). общие технологические требования при эксплуатации систем хранения, транспортирования и газификации: дата введения 2018.06.02. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293799/4293799358.htm#i222242> (дата обращения 05.06.2021). – Текст: электронный.

82. ТК РФ Статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда: дата введения 2013.12.28. URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/f1191608ff5727

					Список использованных источников	Лист
						106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[6dca0776c597c6713c3800629d/](#) (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

83. ТК РФ Статья 372. Порядок учета мнения выборного органа первичной профсоюзной организации при принятии локальных нормативных актов: дата введения 2021.05.01. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/dbc2a634dfe4e186078b674c285dad8ba051ab68/ (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

84. ТОИ Р-112-17-95 Типовая инструкция по организации безопасного проведения газоопасных работ на предприятиях нефтепродуктообеспечения: дата введения 1995.08.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003639> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

85. ТК РФ Статья 86. Общие требования при обработке персональных данных работника и гарантии их защиты: дата введения 2021.05.01. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/01f6157ff985b3cbbb50eb88fa6e26f30202532a/ (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

86. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности: дата введения 1992.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

87. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: дата введения 2009.05.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

88. СанПиН 2.2.4.548-96 Санитарные правила и нормы. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату

					Список использованных источников	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

производственных помещений: дата введения 1196.10.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

89. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

90. ГОСТ 12.1.007-76 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: дата введения: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

91. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

92. ГОСТ 12.1.008-76 Межгосударственный стандарт межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Биологическая безопасность. Общие требования: дата введения 1977.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200275> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

93. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: дата введения: 2009.05.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

94. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к

					Список использованных источников	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

объемно-планировочным и конструктивным решениям: дата введения 2013.06.24. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

95. ГОСТ Р 53327-2009. Теплоизоляционные конструкции промышленных трубопроводов: дата введения (2009.05.01). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071941> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

96. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: дата введения 1997.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

97. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989.01.01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

98. Экологические аспекты СПГ- проектов в арктических условиях. URL: https://wwf.ru/upload/iblock/b3c/spg_web.pdf (дата обращения 05.05.2021). – Текст: электронный.

99. Мнушкин И.А. RU2686646C1 Криогенный трубопровод: дата публикации 29.04.2019. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2686646C1> (дата обращения 04.05.2021). – Текст: электронный.

100. Сайдадь Г.И., Красновский К.О., Котусов С.А., Васильева И.Ю. RU2532476C2 Криогенный трубопровод: дата публикации 10.11.2014. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2532476C2> (дата обращения 04.05.2021). – Текст: электронный.

101. Гусев А.Л. RU95120543А Криогенный трубопровод: дата публикации 05.12.1995. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU95120543A_19971220 (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

					Список использованных источников	Лист
						109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

102. Жмакин В.А. RU54135U1 Криогенный трубопровод: дата публикации 10.06.2006. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU54135U1_20060610 (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

103. Гусев А.Л. RU96100184А Криогенный трубопровод: дата публикации 04.01.1996. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU96100184A_19980310 (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

104. Менардо Ф.А.К. RU2571696C2 Криогенный перекачивающий рукав с волокнистым изолирующим слоем: дата публикации 20.12.2007. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2571696C2_20151220 (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

105. Гусев А.Л. RU2177100 Способ эксплуатации криогенных трубопроводов и криогенный трубопровод: дата публикации 20.12.2001. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2177100C2_20011220 (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

106. Артамонов Ю.В. RU2035001C1 Секция заправочного трубопровода для криогенных продуктов особой чистоты: дата публикации 10.05.1995. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2035001C1_19950510 (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

107. Солодов А.И. RU2042875C1 Криогенный трубопровод: дата публикации 27.08.1995. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2042875C1_19950827 (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

108. Грачев Ю.В. RU2239746C2 Криогенный трубопровод: дата публикации 10.11.2004. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2239746C2_20041110 (дата обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

109. Грачев Ю.В. RU2239746C2 Криогенный трубопровод: дата

					Список использованных источников	Лист
						110
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

публикации 10.11.2004. URL:
https://yandex.ru/patents/doc/RU2239746C2_20041110 (дата обращения
05.04.2021). – Текст: электронный.

110. Выгодин В.А. RU2002110425А Низкотемпературная изоляция:
дата публикации 27.04.2004. URL:
https://yandex.ru/patents/doc/RU2002110425A_20040427 (дата обращения
05.04.2021). – Текст: электронный.

111. Буслаев В.Ф. RU62643U1 Теплоизолированная труба: дата
публикации 27.11.2006 URL:
https://yandex.ru/patents/doc/RU62643U1_20070427 (дата обращения
05.04.2021). – Текст: электронный.

112. Лебедев А.Е. RU727426C1 Способ получения
теплоизоляционного материала на основе аэрогеля: дата публикации
05.08.2019. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2696638C1_20190805 (дата
обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

113. Фрикке М. RU2016114691А Способ получения аэрогеля: дата
публикации 23.10.2017. URL:
https://yandex.ru/patents/doc/RU2016114691A_20171023 (дата обращения
05.04.2021). – Текст: электронный.

114. Дирк Ф. RU2161143C2 Композиционный материал, содержащий
аэрогель, способ его изготовления, а также его применение: дата публикации
27.12.2000. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2161143C2_20001227 (дата
обращения 05.04.2021). – Текст: электронный.

115. Руанет С.Ф. RU2293906C2 Способ получения изоляционного
изделия, содержащего аэрогель: дата публикации 20.02.2007. URL:
https://yandex.ru/patents/doc/RU2293906C2_20070220 (дата обращения
05.04.2021). – Текст: электронный.

116. Тоньон Ф. RU2605485C2 Трубчатая изолирующая обкладка для
труб и способ обеспечения трубчатой изолирующей обкладки: дата

					Список использованных источников	Лист
						111
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

публикации

20.12.2016.

URL:

https://yandex.ru/patents/doc/RU2605485C2_20161220

(дата обращения

05.04.2021). – Текст: электронный.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Список использованных источников	Лист
						112