

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль «Эксплуатация и обслуживание объекта транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении»

УДК 662.998:622.691-404

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б5Б	Вершинина Е.В.		01.06.2019

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Чухарева Н. В.	к.х.н., доцент		01.06.2019

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Трубникова Н. В.	д.и.н., доцент		07.05.2019

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М. С.			08.06.2019

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Брусник О.В.	к.п.н.		01.06.2019

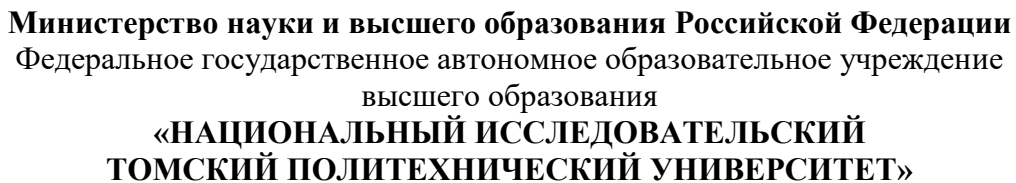
ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ БАКАЛАВРИАТА

21.03.01 Нефтегазовое дело

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями		
Общие по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, УК-6, УК-7, ОПК-1, ОПК-2), (ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i).
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-8, ОПК-2, ОПК-6, ОПК-7).
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P3	Применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику при эксплуатации и обслуживании технологического оборудования нефтегазовых объектов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11).
P4	Оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в практической деятельности и применять принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-6, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15).
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P5	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, используя принципы менеджмента и управления персоналом и обеспечивая корпоративные интересы	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, УК-8, ОПК-3, ОПК-7, ПК-16, ПК-17, ПК-18), (ЕАС-4.2-h), (АВЕТ-3d).
P6	Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять задания в области сертификации нефтегазового производственного оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22).
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P7	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26).
<i>в области проектной деятельности</i>		
P8	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-27, ПК-28, ПК-29, ПК-30), (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-e).
Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»		
P9	Применять диагностическое оборудование для проведения технического диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
		<i>стандарта 19.016 "Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов".</i>
P10	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".</i>
P11	Оценивать результаты диагностических обследований, мониторингов, технических данных, показателей эксплуатации объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".</i>



Толщина железобетонного резервуара – 0,4 м

	Толщина облицовки из углеродистой стали на внутренней поверхности железобетонного резервуара – 0,005 м Толщина внутреннего резервуара из хладостойкой стали – 0,03 м
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).	Провести аналитический обзор конструктивных особенностей и материалов изотермических резервуаров для хранения СПГ. Выполнить анализ нормативно-технической базы, в области проектирования, сооружения и эксплуатации резервуаров для сжиженного природного газа. Определить основные свойства изоляционных материалов, влияющие на режим хранения СПГ. Проанализировать существующие методики расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара. Выполнить расчеты, которые позволят определить необходимую толщину изоляционного материала.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	- Типовая схема резервуара с одинарной оболочкой; - Типовая схема двойного резервуара; - Типовая схема двухоболочечного резервуара; - Типовая схема мембранного резервуара; - Графическая зависимость потерь на испарение от толщины и типа изоляции двухоболочечного изотермического резервуара; - Графическая зависимость увеличения испарения продукта от высоты воздушной прослойки в системе изоляции;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Трубникова Н. В, профессор
«Социальная ответственность»	Черемискина М. С., ассистент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.12.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чухарева Н. В.	к.х.н., доцент		17.12.2018 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б5Б	Вершинина Екатерина Вячеславовна		17.12.2018 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ-
РЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Б5Б	Вершинина Е. В.

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Эксплуатация и об- служивание объектов транс- порта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материально-технические: персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением общей стоимостью 38,5 тыс. рублей Человеческие: дипломник и руководитель с совокупной стоимостью 140,8 тыс. рублей
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициент доп. заработной платы 12%; Районный коэффициент 30%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым выплатам в соответствии с Налоговым кодексом РФ (НК РФ-15) от 16.06.98, а также Трудовым кодексом РФ от 21.12.2011г. Ставка налога на прибыль 20 %; Налог на добавленную стоимость 20%; Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Оценка потенциальных потребителей результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT-анализ
4. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Расчет затрат на основную и дополнительную заработную плату; 2. Расчет внебюджетных отчислений; 3. Расчет материальных затрат; 4. Расчет накладных затрат.
5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффективности на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.03.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Трубникова Н. В.	д.и.н., доцент		04.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б5Б	Вершинина Е. В.		04.03.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Б5Б	Вершининой Екатерине Вячеславовне

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1 Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Объектом исследования является изотермический резервуар для хранения сниженных природных газов. Объект относится к технологическому сооружению повышенной опасности, требующему особых условий эксплуатации. Выявить вредные и опасные проявления факторов производственной среды, возможности негативного воздействия на компоненты окружающей среды, возможные чрезвычайные ситуации на объекте.
2 Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	Привести основные характерные правовые нормы трудового законодательства при эксплуатации ИР Привести основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны для создания комфортной рабочей среды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	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.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактиче-	Проанализировать выявленные опасные факторы при разработке проектируемого решения: - оборудование и трубопроводы, работающие под давлением; - пожаровзрывоопасность; - пониженная температура поверхностей оборудования; - перемещение фаз СПГ.

ские мероприятия, первичные средства пожаротушения)	
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Проанализировать влияние работ, проводимых в ходе проектируемого решения, на различные компоненты окружающей среды: - анализ воздействия объекта на атмосферу; - анализ воздействия объекта на гидросферу; - анализ воздействия объекта на литосферу. Предложить решения по снижению негативного влияния работ на окружающую среду.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	- Проанализировать возможности возникновения ЧС при эксплуатации изотермических хранилищ СПГ; - Предложить превентивные меры по предупреждению ЧС, а также действия в результате возникшей ЧС и меры по ликвидации её последствий.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	- Привести специальные правовые нормы трудового законодательства при работе в резервуарном парке. - Перечислить необходимые организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2019 г.
---	----------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черемискина М. С.			01.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б5Б	Вершинина Екатерина Вячеславовна		01.03.2019

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль «Эксплуатация и обслуживание объекта транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Уровень образования бакалавриат

Отделение Нефтегазового дела

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.01.2019	<i>Введение</i>	5
28.01.2019	<i>Обзор литературы</i>	10
06.02.2019	<i>Основные свойства СПГ, влияющие на процесс хранения</i>	5
18.02.2019	<i>Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ</i>	5
05.03.2019	<i>Металлоконструкции изотермических резервуаров для хранения СПГ</i>	3
18.03.2019	<i>Изоляции изотермических резервуаров</i>	6
04.04.2019	<i>Анализ современных методик расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ</i>	10
15.04.2019	<i>Расчета толщины изоляционного материала, обеспечивающей заданный уровень потерь на испарение</i>	12
29.04.2019	<i>Расчет влияния уплотнения тепловой изоляции изотермических резервуаров на потери на испарение продукта</i>	12
07.05.2019	<i>Социальная ответственность</i>	8
14.05.2019	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	9
20.05.2019	<i>Заключение</i>	5
27.05.2019	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чухарева Н.В.	к.х.н.		01.06.2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Брусник О.В.	к.п.н.		01.06.2019

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями на основе [4, 54,124-125]:

Внешний резервуар: Цилиндрический наружный (внешний) резервуар, выполненный из стали или железобетона.

Внутренний резервуар: Резервуар для хранения продукта, расположенный внутри наружного (внешнего резервуара).

Вторичный контейнер для жидкости: Часть внешнего контейнера в двойном. двухбололочечном закрытого типа или мембранном резервуаре, которая в случае аварии способна полностью удерживать жидкие продукты.

Защитная дамба: Сооружение из земли или бетона, окружающее резервуар-хранилище на значительном расстоянии для предупреждения разлива жидкости.

Испарение: Процесс образования пара над жидкостью под воздействием тепла, проникающего сквозь изоляцию, окружающую резервуар-хранилище.

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

Мембрана: Первичный контейнер и стальной защитный контейнер из тонкого металла в мембранном резервуаре.

Облицовка: Металлическая обшивка, установленная на внутренней стороне железобетонного внешнего резервуара, не проницаемая для паров продукта и водяных паров.

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении		
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата			
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки		
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19			
Консульт.							
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19			
					ТПУ гр. 2Б5Б		

Пароизоляция: Барьер, предупреждающий попадание водяных паров и других атмосферных газов в теплоизоляцию или во внешний резервуар.

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

Первичный контейнер для жидкости: Часть одинарного, двойного, двухбололочного закрытого типа или мембранного резервуара, в которой содержится жидкость при нормальной эксплуатации.

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

Подвесное перекрытие: Конструкция для поддержания внутренней изоляции крыши

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

Резервуар для хранения сжиженного природного газа: Стационарный сосуд, предназначенный для хранения сжиженного природного газа.

Сжиженный природный газ: Бесцветная горючая жидкость, кипящая в диапазоне температур от 110 до 115 К при атмосферном давлении. По химическому составу СПГ представляет собой многокомпонентную смесь углеводородов с преобладающим содержанием метана.

Изотермический способ хранения СПГ: хранение СПГ в резервуарах при давлении 100-115 кПа и соответствующей этому давлению температуре кипения.

Температурные деформации: тепловое расширение или сжатие изолируемой поверхности и элементов конструкции под воздействием изменения температурных условий при монтаже и эксплуатации изолируемого

					Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		2

объекта.

Температуростойкость: Способность материала сохранять механические свойства при повышении или понижении температуры. Характеризуется предельными температурами применения, при которых в материале обнаруживаются неупругие деформации (при повышении температуры) или разрушение структуры (при понижении температуры) под сжимающей нагрузкой.

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.

Условные обозначения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Условные обозначения

Условные обозначения		Наименование				
Т _н		температура наружного воздуха, К				
Т _ж		температура жидкости внутри резервуара, К				
V _{ном}		номинальным объемом резервуара, м ³				
D _{вн}		диаметр внутренней емкости, м				
H _ж		высота налива, м				
ρ _{жс}		плотность хранимого СПГ, кг/м ³				
λ _ж		коэффициент теплопроводности СПГ, Вт/(м·К)				
г		массовая скрытая теплота парообразования, кДж/кг				
τ		время хранения, ч				
ν _ж		кинематическая вязкость СПГ, м ² /с				
с _{рж}		изобарная теплоемкость СПГ, Дж/(кг·К)				
ε _{жб}		степень черноты наружной железобетонной поверхности резервуара				
					Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	Лист
						3
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

V	скорость ветра, м/с
$M_{\text{исп}}$	масса продукта, потерянного в результате испарения при изотермическом хранении СПГ
$T_{\text{вых}}$	температура газа на выходе из резервуара, °С
λ_0	коэффициентом теплопроводности неподвижного воздуха прослойки, Вт/(м·К)
$h_{\text{пр}}$	высота образовавшейся вследствие уплотнения воздушной прослойки, м
$\delta_{\text{пр}}$	толщина образовавшейся вследствие уплотнения воздушной прослойки, м
F_1	площадь поверхности газовой прослойки, м ²
T	средняя температура воздуха в прослойке, К;
Δt	разность температур поверхностей, ограничивающих прослойку, К
ρ_0	плотность перлита соответственно до уплотнения, кг/м ³
λ_i	коэффициент теплопроводности i -го слоя n -слойной стенки, Вт/(м·К)
δ_i	толщина i -го слоя n -слойной стенки, м
t_i	температура i -го слоя n -слойной стенки, °С
d_i	диаметр i -го слоя n -слойной стенки, м;
$\alpha_{\text{вн}}$ и $\alpha_{\text{н}}$	коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей стенок изолируемого объекта, Вт/(м ² ·К)
$T_{\text{н}}^*$	фиктивная температура наружного воздуха, учитывающая нагрев от солнечного излучения, К
$Q_{\text{рад}}$	внешнее радиационное излучение солнца, Вт/м ²
k	общий коэффициент теплопередачи от хранимого сжиженного газа к окружающей среде, Вт /м ² ·К
F	площадь поверхности резервуара, м ²
R_1 и $R_1^{\text{упл}}$	термическое сопротивление до и после уплотнения соответственно, м ² ·К/ Вт

Сокращения:

ИР – изотермический резервуар;

ИР СПГ – изотермический резервуар для сниженного природного газа;

ОГ – отпарной газ;

ПГ – природный газ;

СПГ – сжиженный природный газ;

СУГ – сжиженный углеводородный газ;

ТИ – тепловая изоляция.

ТИМ – теплоизоляционные материалы.

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

Нормативные ссылки:

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

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

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.

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. Часть 2. Металлоконструкции.

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. Часть 4. Изоляционные компоненты.

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. Часть 3. Компоненты бетона.

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

СП 240.1311500.2015. Свод правил «Хранилища сжиженного природного газа».

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

СП 326.1311500.2017. «Объекты малотоннажного производства и по-

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

требления 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 Р 56851-2016. Газ природный сжиженный. Метод расчета термодинамических свойств.

ТУ 51-03-03–85. Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания.

ГОСТ Р 56021-2014. Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок. Технические условия.

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

ГОСТ Р 56835-2015. Газ природный сжиженный. Газ отпарной производства газа природного сжиженного. Определение компонентного состава методом газовой хроматографии.

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

ГОСТ Р 57608-2017. Газ горючий природный. Качество. Термины и определения.

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

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

ВНТП 51-1-88. Ведомственные нормы на проектирование установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических

					Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		6

хранилищ и газозаправочных станций (временные).

ГОСТ 31913-2011. Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения.

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

					Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	Лист
						7
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 144 страниц, 26 рисунков, 37 таблиц, 140 источников цитируемой литературы, 3 приложения.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, резервуары для хранения сжиженного природного газа, изотермические хранилища СПГ, конструкция резервуара, тепловая изоляция, СПГ – перспективный энергоноситель.

Объект исследования: технология хранения сжиженного природного газа в изотермических резервуарах.

Цель работы: влияние типа и толщины изоляционного материала на снижение потерь сжиженного природного газа при хранении.

В процессе исследования были проведены: аналитический обзор конструктивных особенностей и материалов изотермических резервуаров для хранения СПГ; анализ нормативно-технической базы, в области проектирования, сооружения и эксплуатации резервуаров для сжиженного природного газа; приведены возможности импортозамещения в изотермическом резервуаростроении; рассмотрены свойства основных типов изоляционных материалов, предназначенных для низкотемпературных объектов; выполнен сравнительный анализ современных методик расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ.

В результате исследования: предложены изоляционные материалы, которые могут быть применены для изотермического резервуаростроения; предложена методика расчета толщины изоляционного материала, обеспечивающей заданный уровень потерь на испарение; расчетным способом оценено влияние уплотнения тепловой изоляции изотермических резервуаров на потери на испарение продукта.

Область применения: хранение СПГ в вертикальных цилиндрических стальных емкостях с плоским дном с рабочей температурой от от минус 161 до минус 165 °С.

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Реферат	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	8	135
Консульт.						ТПУ гр.2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

ABSTRACT

The final qualifying paper contains 144 pages, 26 figures, 37 tables, 140 sources of quoted literature, 3 applications.

Keywords: liquefied natural gas, storage tanks for liquefied natural gas, isothermal storage of LNG, tank design, thermal insulation, LNG is a promising energy carrier.

Object of the study: technology of storage of liquefied natural gas in isothermal tanks.

Purpose: the effect of the type and thickness of the insulating material on reducing the loss of liquefied natural gas during storage.

In the course of the study, the following was conducted: an analytical review of the design features and materials of isothermal storage tanks for LNG; analysis of the regulatory framework in the design, construction and operation of tanks for liquefied natural gas; the possibilities of import substitution in the isothermal reservoir; considered the properties of the main types of insulation materials intended for low-temperature objects; comparative analysis of modern methods for calculating the heat flux through the surface of the hull of an LNG isothermal tank was performed.

As a result of a research: insulation materials have been proposed that can be used for an isothermal reservoir; proposed methods for calculating the thickness of the insulating material, providing a given level of evaporation losses; The effect of compaction of thermal insulation of isothermal tanks on evaporation losses of a product is estimated by calculation.

Application field: storage of LNG in vertical cylindrical steel tanks with a flat bottom with a working temperature from minus 161 to minus 165 ° C.

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Abstract	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	9	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

Оглавление

Введение.....	12
1. Реализация технологий сжиженного природного газа	14
1.1. Анализ рынка СПГ	14
1.2. Хранение в производственно-сбытовой цепи СПГ	18
1.3. Технологии хранения СПГ	21
1.4. Импортзамещение в сфере производства СПГ	25
1.5. Анализ нормативной базы в области проектирования, сооружения, и эксплуатации изотермических хранилищ СПГ	27
1.6. Патентные исследования в области стационарного хранения СПГ	30
2. Основные свойства сжиженных природных газов	33
3. Конструктивные особенности изотермических резервуаров для	38
хранения СПГ	38
4. Металлоконструкции изотермических резервуаров для хранения СПГ	45
5. Тепловая изоляции изотермических резервуаров	48
6. Расчетная часть.....	63
6.1. Анализ современных методик расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ	63
6.2.Определение зависимости потерь на испарение от толщины и типа изоляции.....	69
6.3.Влияние уплотнения тепловой изоляции изотермических резервуаров на потери на испарение продукта.....	78
7. Социальная ответственность	84
7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
7.1.1. Социальные правовые нормы трудового законодательства.....	84
7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны ...	86
7.2.1. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по снижению уровня их воздействия.....	88
7.3. Экологическая безопасность.....	92
7.3.1. Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду	92
7.3.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	93
7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	94

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Оглавление	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	10	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

7.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	94
7.4.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	95
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	97
8.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	97
8.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	97
8.1.2. Анализ конкурентных технических решений	98
8.1.3. SWOT-анализ	100
8.2. Планирование научно-исследовательских работ	101
8.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	101
8.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	103
8.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	106
8.3. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	109
Заключение	112
Список использованных источников	114
Приложение А	129
Приложение Б	133
Приложение В	135

Введение

Актуальность работы: Природный газ (ПГ) благодаря своим экологическим и экономическим характеристикам успешно конкурирует на энергетическом рынке с нефтью и в ближайшие два десятка лет разделит с ней в равных долях рынок потребления энергии, что неизбежно приведет к активному развитию новых, универсальных и ресурсоэффективных технологий. К таким технологиями относят криогенную технологию сжижения, позволяющую получать сжиженный природный газ (СПГ)

После сжижения объем газа сокращается в 600 раз, благодаря чему повышается безопасность и экономичность его транспортировки и хранения.

В настоящее время практический опыт работы с СПГ на территории РФ незначительный. Но, несмотря на это, активно развиваются проекты по расширению производства СПГ, которые предопределяют использование специальных изотермических хранилищ для обеспечения требуемых условий сохранения ПГ в жидком агрегатном состоянии. Здесь необходимо отметить отсутствие единообразия отечественной нормативно-технической базы, посвященной вопросу проектирования данных технических сооружений

В связи с этим, все вопросы, связанные с длительным хранением больших объемов СПГ с созданием требуемых термобарических условий, являются актуальными. Поэтому, тема выпускной квалификационной работы «Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сжиженного природного газа при хранении» является **актуальной**.

Цель выпускной квалификационной работы бакалавра: влияние типа и толщины изоляционного материала на снижение потерь сжиженного природного газа при хранении.

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сжиженного природного газа при хранении		
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата			
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Введение		
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19			
Консульт.							
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19			
						Литера	Лист
						ДР	12
							Листов
							135
						ТПУ гр. 2Б5Б	

Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- аналитический обзор конструктивных особенностей и материалов изотермических резервуаров для хранения СПГ;
- анализ нормативно-технической базы, в области проектирования, сооружения и эксплуатации резервуаров для сжиженного природного газа;
- определение основных изоляционных материалов, предназначенных для низкотемпературных объектов, и их свойств;
- анализ современных методик расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ;
- расчет толщины изоляционного материала, необходимого для обеспечения заданного уровня потерь на испарение;
- расчет потерь на испарение продукта при уплотнении тепловой изоляции изотермического резервуара;

Объект исследования – технология хранения сжиженного природного газа в изотермических резервуарах.

Предмет исследования – двухбололочечный изотермический резервуар для хранения сжиженного природного газа при температуре от минус 161 до минус 165 °С.

Практическая значимость – В дальнейшем результаты ВКР могут быть положены в основу магистерской диссертации.

Личный вклад автора – предложены изоляционные материалы, которые могут быть применены для изотермического резервуаростроения; предложена методика расчета толщины изоляционного материала, обеспечивающей заданный уровень потерь на испарение.

					Оглавление	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

1. Реализация технологий сжиженного природного газа

1.1. Анализ рынка СПГ

Анализу мирового и российского рынка СПГ посвящено много отечественной и зарубежной литературы, например [1, 2, 7-10, 30, 33].

Природный газ в сжиженном виде является одним из самых перспективных направлений развития энергетики в мире. Производство и сбыт СПГ растут большими темпами.

Согласно данным Международной ассоциации импортеров СПГ GIIGNL [30] в 2017 году глобальные мощности по сжижению ПГ увеличились на 25,4 млн т/г, при этом общая мощность по производству СПГ в мире на конец 2017 г. составила около 365 млн т/г. из которых 77 млн т/г или 21% приходится на рынка лидера – Катар.

В 2017 году мировой импорт СПГ достиг 289,23 млн т, увеличение на 26,2 млн т, или 9,9% по сравнению с предыдущим годом, это самые сильные темпы роста с 2010 года. Основной рынок сбыта СПГ – Азиатско-Тихоокеанский регион. Крупнейшим импортером в Азии является Япония (83,52 млн т или 28,8% мирового импорта), затем идет Китай (13,5%) и Южная Корея (13%). В Европе основной импортер–Испания (4,2%), на Францию и Турцию приходится на 2,5% мирового импорта.

Основным двигателем спроса на СПГ выступает рост потребления газа в Китае. Так в 2017 г. объем импорта СПГ увеличился на 42,3 % с 27,42 млн т. до 39,01 млн т. Такой бурный рост связан с тем, что в стране заморозили строительство новых угольных теплоэлектростанций, альтернативой которым стали газовые ТЭС. Ещё одним крупным импортером на рынке СПГ вы-

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Реализация технологий сжиженного природного газа	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	14	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

ступает Индия, которая, как и Китай, наращивает использование газа.

В настоящий момент, по оценкам различных экспертов, отечественные производители занимают около 4-5% мирового СПГ-рынка. К концу этого десятилетия Россия будет занимать около 10 % на рынке СПГ, а к 2025 г. около 13 % (рисунок 1).

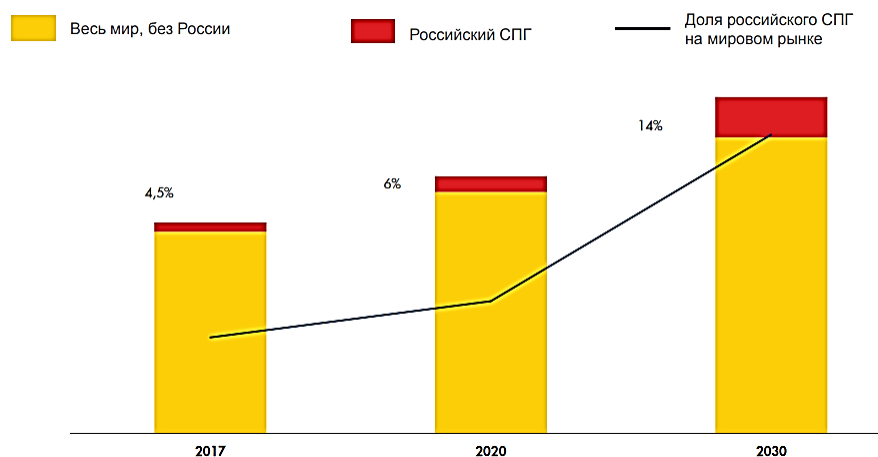


Рисунок 1 – Прогноз роста производства СПГ в России [9]
(по оценке «Шелл»)

Проанализировав источники [7-9], можно сделать вывод, что к основным отечественным СПГ-проектам относят (рисунок 2):

1. Ямал СПГ;
2. Балтийский СПГ;
3. Владивосток СПГ;
4. Печора СПГ;
5. Сахалин-2;
6. Совместный проект Роснефти и Exxon Mobile на Сахалине.

«Ямал СПГ». Проект завода по производству СПГ мощностью 16,5 млн т, ресурсной базой которого станет Южно-Тамбейское месторождение полуострова Ямал с запасами 927 млрд куб. м. Оператор проекта – компания «Ямал СПГ», ее акционерами являются «Новатэк» (с долей 50,1 %), Total (20 %), CNPC (20 %) и китайский Фонд шелкового пути (9,9 %).

Запуск первой очереди «Ямала СПГ» мощностью 5,5 млн т состоялся в

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		15

декабре 2017 г., второй очереди в августе 2018 г., а третьей – в декабре 2018 г. Также, «Новатэк» анонсировал планы по вводу четвертой линии завода мощностью до 1 млн т. Ее проектирование уже завершила НИПИгазопереработка, принадлежащая «Сибуру». Ввод в эксплуатацию намечен на IV квартал 2019 г.

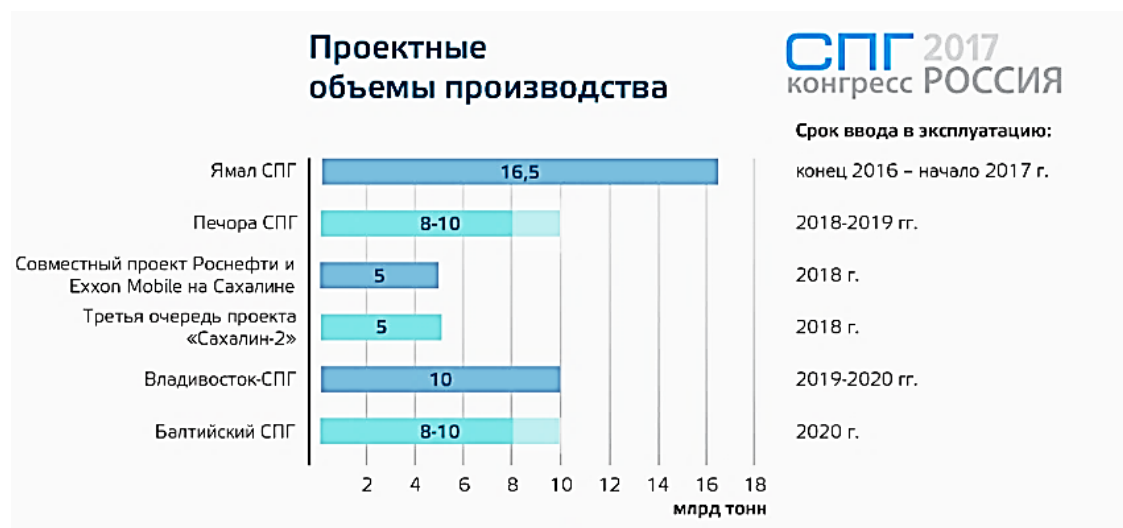


Рисунок 2 – Российские проекты [31]

«Сахалин-2». Завод по производству СПГ проектной мощностью 9,6 млн т на ресурсной базе Лунского месторождения острова Сахалин. Оператор проекта – компания Sakhalin Energy, совладельцами которой являются «Газпром» (50% плюс одна акция), Shell (27,5 % минус одна акция), Mitsui (12,5%) и Mitsubishi (10%).

«Арктик СПГ-2». Проект завода по производству СПГ из трех очередей общей мощностью до 18 млн т. Ресурсной базой должно будет стать Утреннее месторождение с доказанными запасами 388,5 млрд куб. м (согласно классификации SEC по состоянию на 31 декабря 2016 г.), расположенного на соседнем с Ямалом Гыданском полуострове. Лицензией на него владеет дочерняя компания «Новатэка» – «Арктик СПГ-2».

«Штокмановский СПГ». Проект завода по производству СПГ мощностью 7,5 млн т на ресурсной базе Штокмановского месторождения шельфа

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		16

Баренцева моря с запасами 38 трлн куб. м газа. Оператором проекта должна была стать компания Shtokman Development AG, в которой 51% принадлежал «Газпрому», 25% – французской Total и еще 24% – норвежской StatoilHydro.

«Дальневосточный СПГ». Проект завода по производству СПГ мощностью 5 млн т в год с возможностью расширения до 10 млн т. Его ресурсной базой должны будут стать месторождения проекта «Сахалин-1» – Чайво, Одопту и Аркутун-Даги с запасами 307 млн т нефти и 485 млрд куб. м газа, которые разрабатываются консорциумом «Эксон Нефтегаз Лимитед» (по 30% – у ExxonMobil и японской Sodeco, по 20% – у «Роснефти» и индийской ONGC).

«Печора СПГ». Проект завода по производству СПГ мощностью 4 млн т на ресурсной базе Кумжинского и Коровинского месторождений Ненецкого автономного округа с общими запасами 165 млрд куб. м. Оператор проекта – совместное предприятие «Роснефти» и группы «Аллтек», созданное в 2015 г. На сегодняшний день проект остается на бумаге. Ключевая причина – отсутствие у его оператора прав на экспорт СПГ.

«Балтийский СПГ». Проект завода по производству СПГ мощностью 10 млн т с возможностью расширения до 15 млн т, который будет расположен в порту Усть-Луга Ленинградской области. Оператором проекта должно будет стать СП «Газпрома» и Shell – о его создании компании договорились в июне 2017 г. Роль ресурсной базы будут выполнять не конкретные месторождения, а поставки из единой системы газоснабжения (ЕСГ) «Газпрома».

Систематизации технической информации в области производства, хранения, транспортировки и регазификации СПГ посвящены монографии таких авторов, как Б.С. Рачевский [11] и Е.Б.Федорова [48]. Также в справочнике С.Ю. Пирогова, Л.А. Акулова и М.В. Ведерникова [21] широко раскрыт вопрос технологий сжижения и хранения ПГ.

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

1.2. Хранение в производственно-сбытовой цепи СПГ

Всю производственно-сбытовую цепь СПГ в общем виде можно представить в виде следующей схемы (рисунок 3 [48]).



Рисунок 3 – Схема производственно-сбытовой цепи СПГ

Сырьевой газ, подаваемый в комплекс по сжижению ПГ, представляет собой смесь газообразных углеводородов (включая метан, этан, пропан, бутан и т. д.), сероводорода и других примесей.

Первая технологическая операция в комплексе по сжижению ПГ состоит из очистки сырьевого газа путем удаления примесей, например, воды, кислых газов (углекислого газа и сернистого газа) и ртути.

Вторая технологическая операция – это удаление тяжелых углеводородов или легкого конденсата в газофракционной установке. При необходимости также удаляются пропан и бутан или сжиженный углеводородный газ (СУГ).

В последней технологической операции газ, который теперь представляет собой преимущественно метан, поступает в основной поток газа через криогенные теплообменники, где он сжижается путем охлаждения приблизительно до минус 160 °С (рисунок 4 [48]).

После ожижения СПГ поставляется в заводское хранилище СПГ, из которого осуществляется отгрузка газа потребителю. Из хранилища СПГ газ отгружается в криоцистерны или танк-контейнеры для отгрузки потребителю.

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		18

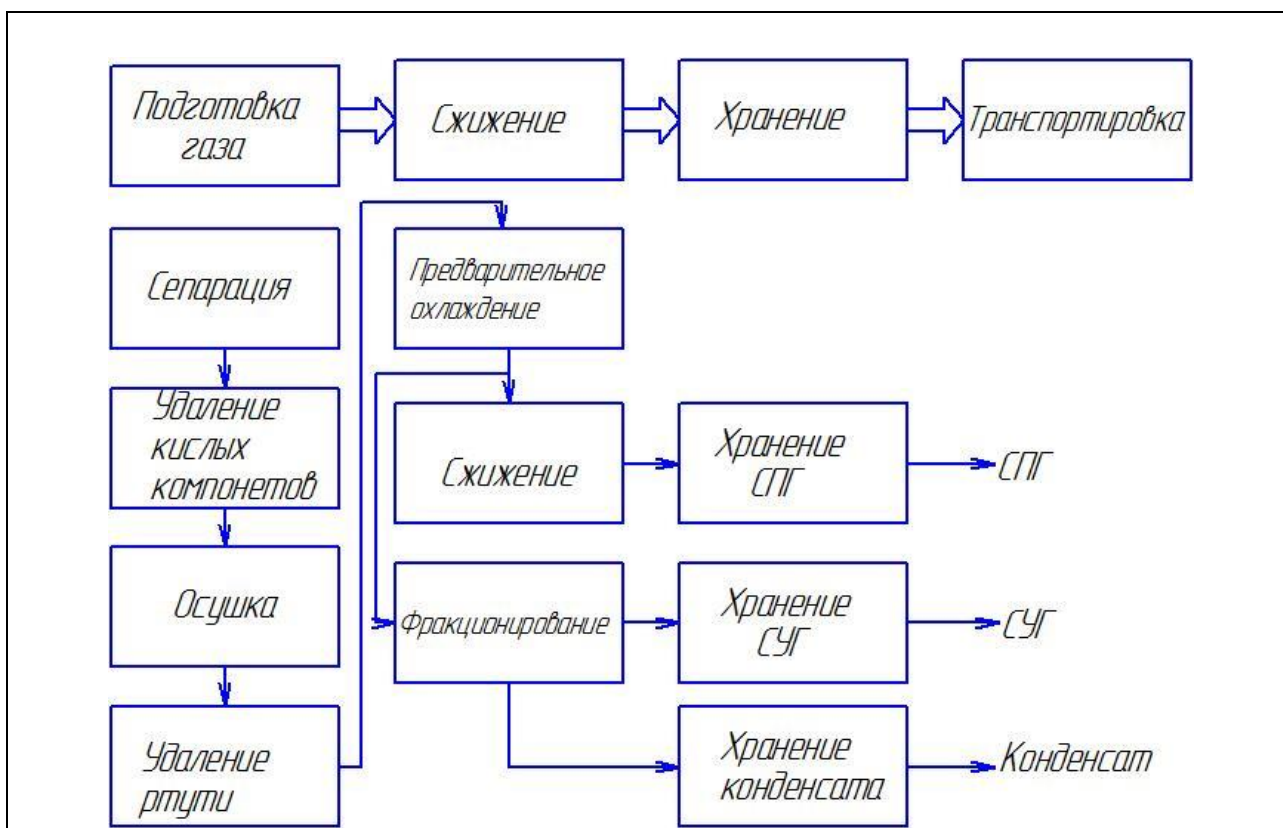


Рисунок 4 – Принципиальная схема производства СПГ

Для заправки автомобилей, использующих СПГ, на заводе устанавливается криоколонка. На использование СПГ может быть переведена и техника собственника завода, что обеспечит топливную экономию и особую экологическую эффективность производства.

Производство СПГ обладает высокой энергоемкостью и требует большого количества электрической энергии. Собственная автономная генерация позволяет разместить производство в удобном месте, получить существенную экономию, отказавшись от покупки энергии у сторонних производителей.

Экспортные поставки газа обычно обеспечиваются крупнотоннажным производством СПГ, а для удовлетворения спроса на внутреннем рынке часто достаточно малотоннажного производства. Выделяют также среднетоннажные проекты, которые согласно [63] занимают промежуточное положение и могут быть интегрированы как в производственные цепочки крупно-

тоннажного производства, так и выступать в качестве поставщика для малотоннажных потребителей.

В российских нормативных документах нет понятий крупно- и среднетоннажного производства СПГ, примерные значения мощностей производств можно найти лишь в различной литературе. Так, заводы с объемом производства до 1-2 млн.тонн/год считаются среднетоннажными, более производительные – крупнотоннажными. Только ГОСТ Р 55892-2013 [51] «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа» устанавливает граничное значение малотонажного производства СПГ в 10 тонн/час, что в [63] оценивается примерно как 82 тыс. тонн/год. При этом количество СПГ на объекте, не должно превышать 200 тонн, при единичном объеме криогенного резервуара, не превышающем 260 м³.

Кроме ГОСТ Р 55892-2013 [51] для малотоннажного производства СПГ существует СП 326.1311500.2017 [52], который устанавливает требования пожарной безопасности при проектировании, строительстве и реконструкции действующих объектов малотоннажного производства и потребления СПГ.

Нормирование крупнотоннажного производства и потребления СПГ в РФ представлено следующими документами. Общие требования безопасности для объектов крупотонажного производства и потребления СПГ при производстве, хранении и перекачке СПГ устанавливаются ГОСТ Р 56352-2015 [49]. В 2019 г. вступили в силу Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности объектов сжиженного природного газа" [113]. Для хранилищ СПГ, в которых СПГ содержится в надземных двухболоочечных резервуарах с полной герметизацией, разработаны требования пожарной безопасности СП 240.1311500.2015 [50]. В соответствии с исследованиями [63] на территории РФ реализованы различные мало-, средне- и крупнотоннажные проекты по технологиям СПГ (таблица 2).

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Таблица 2 – Проекты СПГ в России [63]

	Малотоннажные	Среднетоннажные	Крупнотоннажные
Источник сырья	Газораспределительные сети, месторождение	Газораспределительные сети месторождение	Интеграция с проектами добычи; национальная газовая сеть
Объем производства	100 тыс.тонн/год (<10 тонн/час) Количество СПГ на объекте ≤ 200 т, при единичном объеме криогенного резервуара ≤ 260 м ³ .	≤1000-2000 тыс.тонн/год	≤1000-2000 тыс.тонн/год
Логистика	До 600 км, в отдельных случаях до 2000 км	До 2000 км; при размещении на площадке крупнотоннажного проекта без ограничений	Без ограничений
Технология транспортировки	Автоцистерны; цистерны-контейнеры	Автоцистерны; цистерны-контейнеры; газовозы до 170 тыс.м ³	Крупные газовозы до 260 тыс.м ³
Каналы сбыта	КриоАЗС; автономное тепло и энергоснабжение	Национальные и региональные приемные терминалы; операторы малотоннажного СПГ	Национальные приемные терминалы операторы малотоннажного СПГ
Примеры	СПГ заводы Криогаз СПГ Екатеринбург СПГ Нижний Бестях	Высоцк СПГ КС Портовая	Ямал СПГ Сахалин-2
Нормирование	ГОСТ Р 55892-2013 СП 326.1311500.2017		ГОСТ Р 56352-2015 ФНП СПГ СП 240.1311500.2015

1.3. Технологии хранения СПГ

Хранилища СПГ - важный элемент как завода СПГ, так и приемного терминала. Хранение осуществляется в резервуарах, которые занимают огромные площади и являются потенциальными источниками производственных рисков и основными источниками потерь продукта.

Современная мировая практика строительства комплексов СПГ пока-

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		21

зывает, что на долю резервуаров для хранения СПГ приходится до 18% общих капиталовложений [12] (рисунок 5).

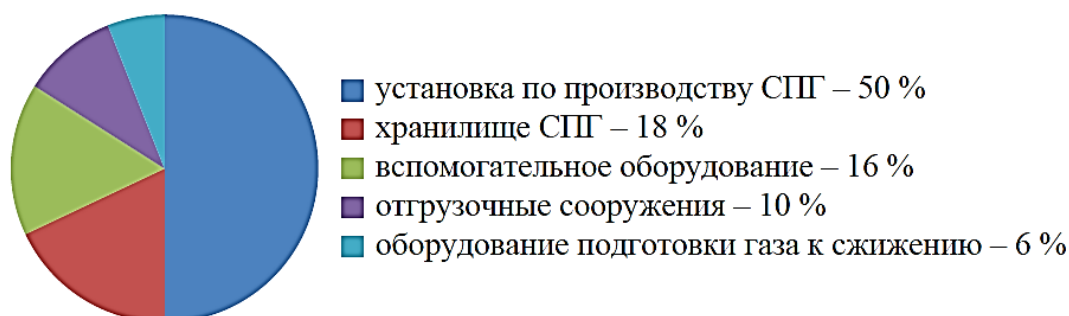


Рисунок 5 – Структура капитальных затрат на строительство крупнотоннажного завода СПГ [12]

Анализу конструкций изотермических резервуаров и оценке опасностей изотермического хранения СПГ посвящено достаточно много работ отечественных авторов. Например исследования Б.М. Рачевского [11- 12], Х.М. Ханухова [18-20], Шойхет Б.М.[23], Рахманина А.И. [17], Ю.И. Дешевых [22], Котляревского В.А. [18], Пирогова [21]. В этих исследованиях авторы приводят различные технические решения и технологические подходы к реализации проектов по строительству резервуаров для хранения сжиженных газов, рассчитывают и определяют безопасные условия их эксплуатации.

Согласно проведенному литературному анализу существуют различные конструктивно-технологические схемы хранения СПГ. При этом, несмотря на разные подходы к технологическим решениям, общей характеристикой резервуаров для хранения СПГ является способность хранить газ при очень низкой температуре. То есть данные технические сооружения относятся к группе криогенных или изотермических резервуаров (ИР). Согласно [118] к криогенным резервуарам относятся резервуары для хранения небольших объемов СПГ под избыточным давлением, а к изотермическим относятся резервуары для хранения больших объемов СПГ под давлением близком к атмосферному (рисунок 6).

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		22

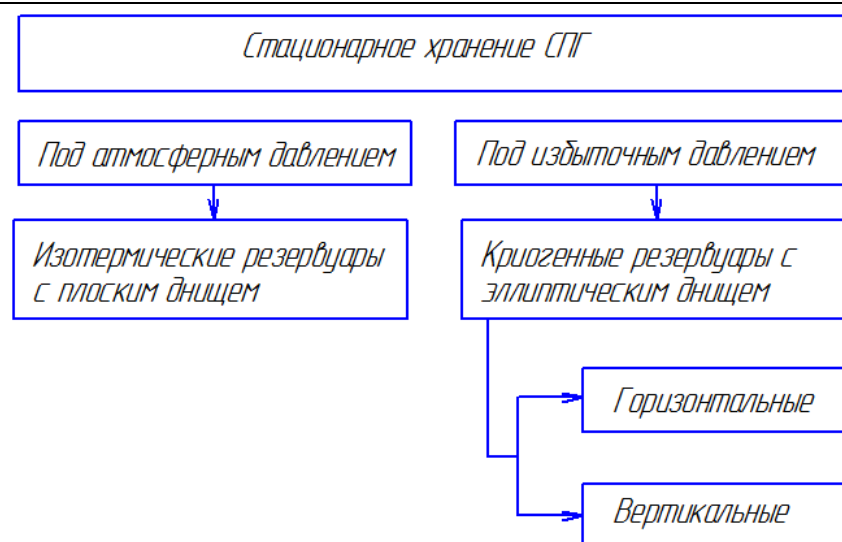


Рисунок 6 – классификация стационарных хранилищ СПГ

Все виды резервуаров для хранения СПГ представляют собой двойные контейнеры, где внутренняя часть находится в контакте с СПГ и выполняется из хладостойкой стали с 9 % содержанием никеля, наружная оболочка выполняется из углеродистой стали. Пространство между оболочками заполняется изоляционными материалами.

Размер стационарных емкостей для хранения СПГ, предлагаемых на рынке, сильно дифференцирован в зависимости от области применения.

Стационарные СПГ резервуары эксплуатируются в составе систем:

- сжижения природного газа;
- хранилищ СПГ;
- резервуаров хранения и выдачи СПГ в составе АЗС СПГ;
- систем автономного и резервного теплоэнергообеспечения с использованием СПГ.

Небольшие криогенные цилиндрические стальные резервуары могут быть установлены в технологической линии по сжижению газа, в системах АЗС СПГ или в системах резервного энергообеспечения. Криогенные резервуары могут иметь как горизонтальное, так и вертикальное исполнение (рисунок 7).

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		23



а)



б)

Рисунок 7 – Резервуары для хранения небольших объемов СПГ:
а) в вертикальном исполнении; б) в горизонтальном исполнении

Конструкции выполняются двустенными с экранно-вакуумной или порошково-вакуумной изоляцией. Объем таких резервуаров составляет от 3 до 350 м³, рабочее давление 0,2 – 1,8 МПа, у резервуаров компании «FAS» – до 3,7 МПа.

Примеры хранилищ для небольших объемов СПГ, производимых как отечественными [34-35, 37, 61], так и зарубежными [36, 38-39] компаниями, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Примеры вертикальных и горизонталь изотермических хранилищ для небольших объемов СПГ

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

Что касается вопроса хранения больших объемов СПГ, например в составе береговых систем хранения или автономного обеспечения потребителей, то мировой опыт в этой области показывает, что самым эффективным способом является хранение в вертикальных цилиндрических ИР, при давлении 100-115 кПа и соответствующей этому давлению температуре кипения. Изоляция у таких резервуаров невакуумная, с поддувом азота для исключения попадания влаги. Такое решение позволяет создавать резервуары объемом до сотен тысяч кубических метров более дешевыми, чем резервуары с экранно-вакуумной изоляцией. За последние несколько лет значительно возросло число публикаций [8-11], посвященных описанию изотермических резервуаров для хранения СПГ (ИР СПГ), что объясняется активным развитием проектов на территории РФ и необходимостью импортозамещения в области проектирования безопасных ИР большой емкости.

1.4. Импортозамещение в сфере производства СПГ

В настоящее время на территории РФ все ИР СПГ большой емкости построены иностранными фирмами. Но благодаря проведению ПАО «Газпром» и ПАО «Новатек» активной политики импортозамещения в сфере крупнотоннажного и среднетоннажного производства СПГ, согласно данным, представленным на выставке «Импортозамещение в газовой отрасли» [61], уже имеются российские решения по всем ключевым вопросам создания хранилищ СПГ.

Приведем несколько примеров современных производств для технологий СПГ:

1) в соответствии с данными [111], одна из крупнейших горно-металлургических компаний «Северсталь» в 2018 году отгрузила около 700 тонн элементов конструкции резервуара хранения СПГ, изготовленных из криогенной низкоуглеродистой стали с 9-процентным содержанием никеля

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		25

X7Ni9, для среднетоннажного СПГ-завода «Газпрома» возле компрессорной станции «Портовая»;

2) Ведущим российским производителем криогенных насосов и систем, предназначенных для заводов по производству СПГ, судов-газовозов, а также СПГ терминалов АО «ЛГМ» в рамках процесса импортозамещения разработан и произведен опытно-промышленный образец криогенного насоса СПГ.

3) Совместно со специалистами-бетонщиками ГК «Росатом» подобран компетентный российский подрядчик, использующий российские системы преднапряжения железобетонных конструкций.

В РФ уже имеется опыт строительства преднапрягаемых железобетонных резервуаров для сжиженного газа. В 2017г. «Велесстрой» завершил строительство резервуаров и первой линии завода Ямал СПГ. Для проведения работ по подбору составов бетонов для резервуаров завода был задействован Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Возведение резервуаров осуществлялось с применением скользящей опалубки фирмы Gleitbau. На сегодняшний день компания «ТХМ-Монолит» – единственная в России, освоившая технологию, разработанную австрийской компанией Gleitbau.

4) Отечественный строительный подрядчик АО «Теплохиммонтаж» реализовал в 2018 г. строительство резервуара хранения СПГ в составе объекта «Терминал по производству и перегрузке СПГ в порту Высоцк». Впервые в российской строительной практике был выполнен пневмоподъёмом купола крыши резервуара хранения СПГ.

5) Компания «СТЭС-ВЛАДИМИР» в 2016 г. стала победителем тендера ОАО «Ямал СПГ» на поставку теплоизоляционных изделий для оборудования и трубопроводов из пеностекла НЕОПОРМ®, специально спроектированных для ОАО «Ямал СПГ».

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		26

В течение 2018–2020 годов планируется создание российской инжиниринговой компании, специализирующейся на проектировании хранилищ СПГ.

Отечественные возможности по импортозамещению при сооружении ИР СПГ в своем докладе «Вопросы импортозамещения в изотермическом резервуаростроении и проблемы безопасности хранения сжиженных газов» [41] предложил доктор технических наук и генеральный директор Научно-производственного концерна «ИЗОТЕРМИК» Ханухов Х.М.

Используя данные [41] в ВКР была составлена таблица, в которой наглядно представлены отечественные возможности по импортозамещению (таблица 4).

Таблица 4 – Отечественные возможности по импортозамещению

Этап проектирования, строительства	Компании, организации
Проектирование ИР СПГ	Создание российской инжиниринговой компании 2018–2020гг; ООО «НПК Изотермик»
Металл	Отечественные металлургические заводы; ПАО «Северсталь»
Строительство ИР	АО «Теплохиммонтаж»
Изготовление и монтаж теплоизоляционных конструкций	ООО «Объединенная промышленная инициатива», Компания «СТЕС-Владимир», производители перлита
Железобетонные конструкции	Отечественные заводы ЖБК и монтажные организации; НИИЖБ им. А.А. Гвоздева; «ТХМ-Монолит»
Криогенные насосы	АО «ЛГМ»

1.5. Анализ нормативной базы в области проектирования, сооружения, и эксплуатации изотермических хранилищ СПГ

Анализ отечественной нормативной базы в области проектирования, сооружения, эксплуатации, диагностики и ремонта изотермических хранилищ СПГ показывает, что на сегодняшний день нормативно-техническая документация переживает интенсивное преобразование на фоне меняющихся требований мирового сообщества к указанной технологии.

С 1988 г. в России все вопросы проектирования ИР СПГ регламентиро-

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		27

вались ВНТП 51-1-88 [13]. Данный документ не отвечает современным требованиям (максимально допустимая единичная емкость резервуара, в 10 раз меньше применяемых на мировом рынке), поэтому необходимо провести его пересмотр и актуализацию.

Значительная часть новых отечественных стандартов является идентичным воспроизведением международных. Так, за рубежом при проектировании и строительстве изотермических хранилищ СПГ применяется стандарт 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 («Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для хранения охлажденных, сжиженных газов с рабочими температурами от 0°C до –165 °C»). [25]. С 1 января 2020 г. на территории РФ вступят в силу ГОСТ Р 58032-2017 [5], ГОСТ Р 58027 – 2017 [4], ГОСТ Р 58028–2017 [115], ГОСТ Р 58029-2017 [6], которые по сути являются переводом EN 14620 [25]. Также с учетом основных нормативных положений стандарта National Fire Protection Association (Национальной ассоциации противопожарной защиты) США – NFPA 59A Production, Storage and Handling of Liquefied natural Gas (LNG) («Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа»), разработан уже упомянутый стандарт ГОСТ Р 56352-2015[49]. ГОСТ Р 57431-2017 «Газ природный сжиженный. Общие характеристики» [3] является модифицированным переводом международного стандарта ISO 16903:2015 Petroleum and natural gas industries - Characteristics of LNG, influencing the design, and material selection [116]. ISO 8943:2007 Refrigerated light hydrocarbon fluids - Sampling of liquefied natural gas - Continuous and intermittent methods стал основой для разработки ГОСТ Р 56719-2015 «Газ горючий природный сжиженный. Отбор проб» [117].

Основные стандарты безопасности, применяемые за рубежом при

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		28

строительстве изотермических хранилищ СПГ следующие. В Европе это EN 1473 Installation and equipment for liquefied natural gas — Design of onshore installations («Установки и оборудование для сжиженного природного газа – проектирование наземных установок») [24]. В США общие требования к безопасности установок СПГ устанавливаются Федеральным законом, а именно 49 CFR P. 193 («Объекты сжиженного природного газа: Федеральные правила безопасности, разд. 49, ч. 193») [26] и стандартом NFPA 59A [27], который является наиболее полным комплексным собранием требований к наземным установкам производства СПГ. По всем вопросам, связанным с резервуарами СПГ, NFPA 59A ссылается на Приложение Q стандарта API 620 [28]. Это приложение покрывает вопросы проектирования, изготовления и строительства исключительно стальных резервуаров СПГ. В 2018 году выпущен новый стандарт: API 625 Tank systems for refrigerated, liquefied gas storage («Резервуарные системы для хранения охлажденного, сжиженного газа») [29].

Экономическая эффективность изотермического хранения СПГ в значительной мере определяется эффективностью и надёжностью тепловой изоляции (ТИ). Существующая на сегодняшний день документация, предъявляющая требования к изоляции для вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения, недостаточна, а приводимые методики не в полной мере позволяют определять параметры криогенных материалов.

На текущий период времени в РФ основополагающим документами по проектированию ТИ для различного оборудования являются СП-41-103-2000 [53] и СП-61.13330.2012 [54]. Для теплового расчета изоляции в [53] и [54] используются уравнения стационарной теплопередачи через плоские и криволинейные поверхности. В целом, в данных документах приведена одна и та же методика, но с отличной областью применения. Так в [53], при расчете свойств ТИ учитывается область, находящаяся только в зоне положительных температур (50...600 °С), что не позволяет применять эту методику для

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

решения криогенных задач. А [54], несмотря на указанный необходимый температурный предел от $-180...+600\text{ }^{\circ}\text{C}$, не распространяется на проектирование ТИ для изотермических хранилищ сжиженных газов. Несмотря на сложившуюся ситуацию, компании, предлагающие на отечественном рынке ТИ (Armacell и K-Flex), ссылаются на методики, приведенные в вышеуказанных документах. Это объясняется тем, что согласно [55], приведенные в этих документах математические выводы сделаны из закона теплопроводности Фурье и могут быть применены к большинству промышленных проблем, связанных с теплоизоляцией и теплопередачей.

Требования к изоляции для вертикальных цилиндрических стальных емкостей для хранения сжиженных газов с рабочей температурой от 0 до минус $165\text{ }^{\circ}\text{C}$, представленные в ГОСТ Р 58029-2017 [6], в котором по сути указаны только рекомендации по использованию изоляционных материалов для различных видов резервуаров. Методика, позволяющая определить конкретные параметры (ТИ), не приводится. Кроме того, дата введения [6] обозначена с 01.01.2020 г.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что на сегодняшний день не существует нормативного документа, который бы в полной мере устанавливал требования к ТИ ИР. Эта проблема волнует многих отечественных авторов, и поэтому к настоящему времени в научной литературе представлено множество публикаций, предлагающих различные инженерные методики расчёта ТИ хранилищ СПГ.

Вся собранная нормативно-техническая документация, связанная с вопросами проектирования, сооружения и эксплуатации ИР СПГ, а также свойствами самого СПГ, приведена в таблице А.1 Приложения А.

1.6. Патентные исследования в области стационарного хранения СПГ

Изобретение, модернизация и реализация технологий хранения СПГ является перспективным направлением исследований, что согласно [47],

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		30

начиная с 1995г. отражается на положительной динамике патентования изобретений, относящихся к области стационарного хранения СПГ (рисунок 8).

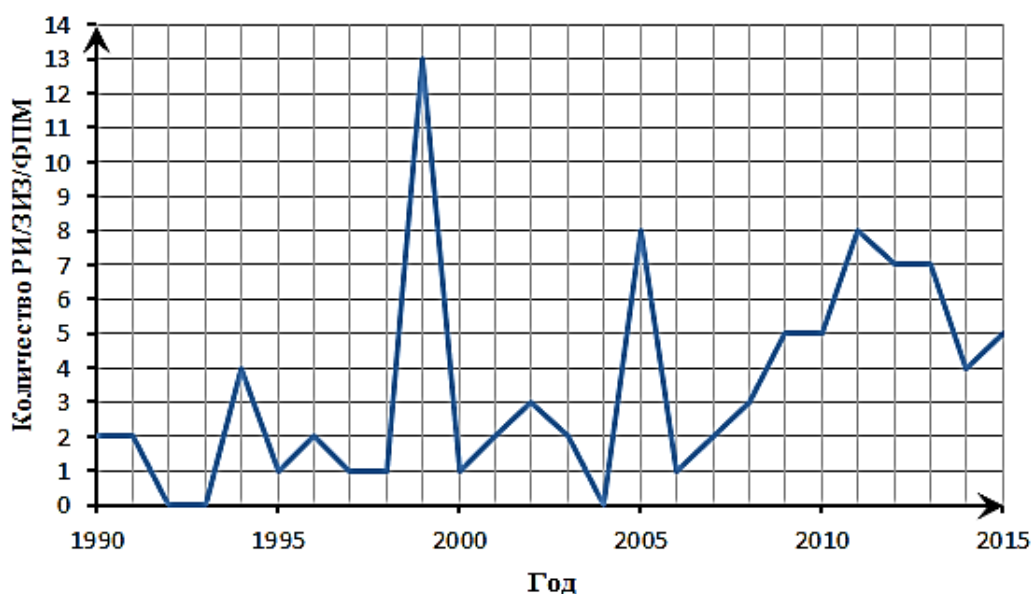


Рисунок 8 – Динамика патентования изобретений, относящихся к области стационарного хранения сжиженного природного газа [47]

Первый класс изобретений – емкости для наземного хранения и транспорта СПГ – RU99125140A, RU2262033C2, RU2262034C2, RU2379577C2, RU2378563C2, RU2452890C2, RU79639U1, RU2009107236A, RU2437026C1, RU2437027C1, RU2013147160A, RU153344U1).

Значительное количество изобретений сделано в области подземного хранения СПГ (RU2244204C2, RU2418728C2, RU2431770C1, RU2431771C1, RU2451872C1, RU2446344C1, RU2468282C1, RU2510360C2, RU2536741C1, RU2544624C1, RU2566180C1, RU2566325C1, RU2597049C1)

В отдельную группу изобретений в области подземного хранения СПГ можно выделить изобретения, относящиеся к способам подземного резервирования СПГ, которое необходимо для выдачи СПГ при перебоях в поставке сетевого ПГ или для покрытия пикового газа потребления (RU2232342C1, RU2298722C1, RU2298725C1, RU2677969C2).

Разработаны конструкции топливных емкостей для долговременного

хранения небольших объемов СПГ различных модификаций (RU2027943C1, RU2355942C1, RU2262033C2, RU2262034C2, RU2001101727A, RU94027787A, RU94026983A). Данные емкости могут использоваться для различных транспортных средств (автотранспорта, самолетов и т.д.) или в качестве стационарных емкостей для хранения криогенных топлив.

					Реализация технологий сжиженного природного газа	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		32

2. Основные свойства сжиженных природных газов

Общие характеристики СПГ устанавливает ГОСТ Р 57431-2017 [3], а методы расчета таких термодинамических свойств как плотность, коэффициент сжимаемости, показатель адиабаты, скорость распространения звука устанавливает ГОСТ Р 56851-2016 [57].

СПГ – криогенная жидкость без цвета и запаха, которая образуется при охлаждении ПГ приблизительно до минус 157 °С и ниже, в зависимости от состава.

По химическому составу СПГ представляют собой смесь углеводородов, преимущественно состоящую из метана, но также включающую этан, пропан и другие компоненты, обычно присутствующие в ПГ. Поэтому, для расчета характеристик СПГ необходимо учитывать параметры всех компонентов, физические и термодинамические свойства которых, можно найти в соответствующей справочной литературе. Примеры типичных СПГ и их физико-химических свойств приведены в таблице 5 [3].

Плотность СПГ может вычисляться как экспериментально, так и с использованием расчетных методик приводимых в [57] по компонентному составу газа, определенному методом газовой хроматографии. Обычно плотность СПГ колеблется в диапазоне от 430 до 470 кг/м³, но в отдельных случаях может достигать 520 кг/м³. Так как, плотность СПГ примерно в два раза меньше плотности воды, то СПГ может плавать на ее поверхности без смешивания. Зависимость плотности СПГ от температуры жидкости выражается температурным градиентом, приблизительно составляющим 1,4 кг/(м³·К).

Вязкость СПГ в зависимости от компонентного состава при температуре минус 160 °С обычно изменяется от $1,0 \cdot 10^{-4}$ до $2,0 \cdot 10^{-4}$ П, что составляет

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Основные свойства сжиженных природных газов	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	33	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

от 1/10 до 1/5 вязкости воды.

Температура кипения СПГ также зависит от компонентного состава и при атмосферном давлении находится в диапазоне от минус 166 °С до минус 157 °С. Изменение температуры кипения СПГ в зависимости от давления составляет примерно $1,25 \cdot 10^{-4}$ °С/Па.

При регазификации одного объема СПГ образуется около 600 объемов газа (таблица 5), что позволяет хранить и транспортировать большие объемы газа, по сравнению с трубопроводным транспортом.

Таблица 5 – Примеры сжиженных природных газов

Свойства при температуре кипения при нормальном давлении	СПГ 1	СПГ 2	СПГ 3
Молярная доля, %:			
N ₂	0,13	1,79	0,36
CH ₄	99,8	93,90	87,20
C ₂ H ₆	0,07	3,26	8,61
C ₃ H ₈	-	0,69	2,74
изо-C ₄ H ₁₀	-	0,12	0,42
н-C ₄ H ₁₀	-	0,15	0,65
C ₅ H ₁₂	-	0,09	0,02
Молекулярная масса, кг/моль	16,07	17,07	18,52
Температура кипения, °С	-161,9	-166,5	161,3
Плотность, кг/м ³	422	448,8	468,7
Объем газа, получаемый из 1 м ³ СПГ при 0 °С и 101,35 кПа, м ³ /м ³	588	590	568
Объем газа, получаемый из 1 т СПГ при 0,0 °С и 101,325 кПа, м ³ /10 ³ кг	1392	1314	1211
Массовая скрытая теплота парообразования, КДж/кг	525,6	679,5	675,5
Высшая теплота сгорания, МДж/м ³	37,75	38,76	42,59

В процессе хранения СПГ вследствие внешнего теплопритока происходит испарение части СПГ и образуется так называемый отпарной газ, представляющий собой газообразную смесь, преимущественно состоящую из метана и азота. Сброс отпарного газа в атмосферу или его факельное сжигание экологически и экономически нецелесообразно, поэтому образовавшийся газ или подают в ожижитель, а затем возвращают назад в резервуар в виде жидкости, или используют в качестве топлива для собственных

					Основные свойства сжиженных природных газов	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		34

нужд. При этом требуется выполнить количественно-качественный анализ характеристик отпарного газа, для чего необходимо определение его компонентного состава по ГОСТ Р 56835-2015 [63].

Если при чрезвычайных обстоятельствах СПГ разливается на землю или в воду, он быстро рассеивается в атмосфере, не загрязняя почву и не причиняя вред морской флоре и фауне.

При попадании СПГ на грунт или различные строительные покрытия теплоприток от подстилающей поверхности к СПГ интенсивно убывает с течением времени и уже через 2-4 мин, согласно [64], интенсивность испарения снижается примерно в два раза (рисунок 9, [64]). В местах возможных утечек скорость испарения СПГ может быть снижена использованием теплоизолирующих поверхностей. Например, на рисунке 9 видно, что интенсивность испарения СПГ с поверхности пеностекла во много раз ниже, чем с любой другой поверхности.

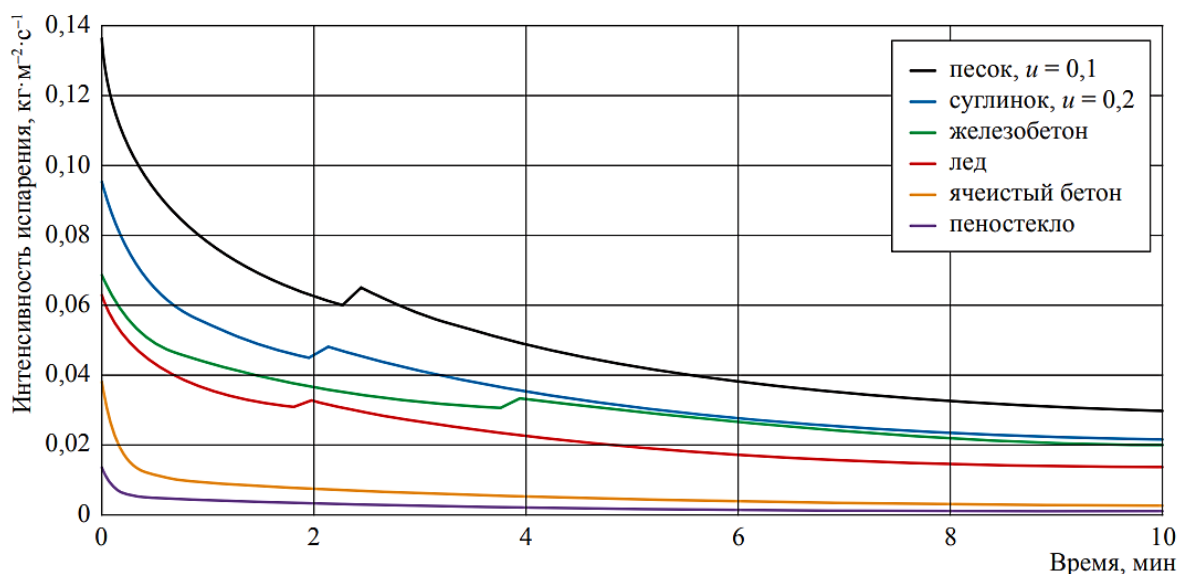


Рисунок 9 – Зависимость интенсивности испарения СПГ на различных непроницаемых покрытиях от времени [64]

При разливе СПГ по водной поверхности, теплоприток от воды (за счет интенсивной конвекции) сохраняет практически постоянное значение. Интенсивность испарения СПГ на воде в 2,5 раза выше, чем на суше.

Несмотря на то, что СПГ бесцветен, при утечке его пары различимы из-за конденсации и замерзания водяных паров, содержащихся в окружающем воздухе, кроме случаев, когда пары имеют температуру близкую к температуре окружающего воздуха, а давление относительно низкое. По мере роста температуры паров СПГ облака растворяются и снова становятся невидимыми.

Концентрационные пределы воспламенения смесей паров СПГ с воздухом составляют 5...15% об.

Состав и свойства СПГ, используемого на территории РФ в качестве моторного топлива для двигателей внутреннего сгорания, должны соответствовать ТУ 51-03-03–85 с изм. № 3 [58]. С 01.01.2016 г. введен в действие ГОСТ Р 56021–2014 [59], определяющий требования к составу СПГ, используемому в качестве газомоторного топлива для двигателей внутреннего сгорания, а также для энергетических установок промышленного и коммунально-бытового назначения, и устанавливающий показатели качества поставляемого потребителям СПГ марок А, Б, В (таблица 6).

Таблица 6 – Марки СПГ приведённые в ГОСТ Р 56021–2014 [59]

Марка СПГ	Характеристика СПГ
А	Высокой чистоты с постоянной теплотой сгорания, используемый в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок с узкими пределами регулирования
Б	Используемый в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания
В	используемый в качестве топлива для энергетических установок
При поставках СПГ с массовой концентрацией общей серы не более 0,010 г/м ³ к обозначению марки СПГ добавляют индекс «0».	

Физико-химические показатели, которым должен соответствовать СПГ согласно ГОСТ Р 56021–2014 [59], приведены в таблице 7.

Природный газ, полученный при регазификации СПГ марок Б и В, должен отвечать соответственно требованиям ГОСТ 27577 и ГОСТ 5542 [60].

Таблица 7 – Показатели качества СПГ по ГОСТ Р 56021–2014 [59]

Наименование показателя	Значение для марки		
	А	Б	В
Компонентный состав, молярная доля, %	Определение обязательно		
Область значений числа Воббе (высшего) при стандартных условиях, МДж/м ³	От 47,2 до 49,2	Не нормируется	От 41,2 до 54,5
Низшая теплота сгорания при стандартных условиях, МДж/м ³	Не нормируется	От 31,8 до 36,8	≥31,8
Молярная доля метана, %, не менее	99,0	80,0	75,0
Молярная доля азота, %, не более	Не нормируется	5,0	5,0
Молярная доля диоксида углерода, %, не более	0,005	0,015	0,030
Молярная доля кислорода, %, не более	0,020		
Массовая концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0,020		
Массовая концентрация меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0,036		
Расчетное октановое число (по моторному методу), не менее	Не нормируется	105	Не нормируется
Требования по качеству после газификации		ГОСТ 27577	ГОСТ 5542 кроме интенсивности запаха

					Основные свойства сжиженных природных газов	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

3. Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ

Низкотемпературное хранение СПГ осуществляют в подземных, заглубленных и надземных изотермических резервуарах (рисунок 10), конструкции которых принципиально отличаются от конструкций, широко применяемых резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, применением хладостойких материалов и наличием теплоизоляции.

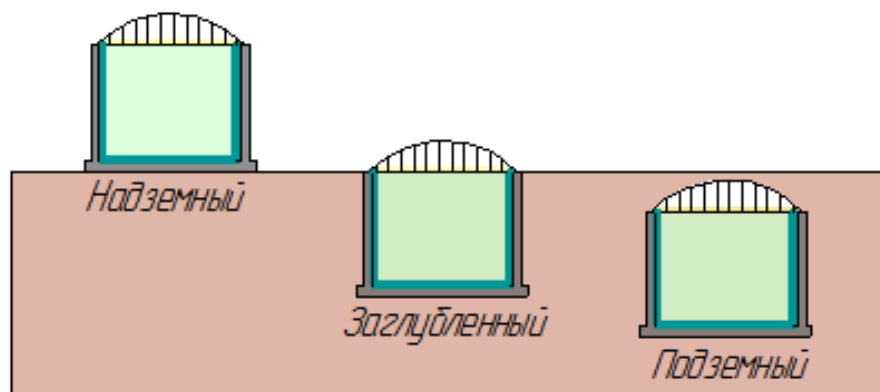


Рисунок 10 – Варианты расположения изотермических резервуаров

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;
- подвесная плоская крыша.

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

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	38	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

Согласно вышеуказанным характеристикам и ГОСТ Р 58027-2017 [4]

ИР для хранения СПГ классифицируются на:

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

Одинарный изотермический резервуар

Одинарный резервуар состоит лишь из одного (первичного) контейнера для хранения жидкого продукта, который представляет собой устойчивый цилиндрический резервуар из хладостойкой стали (рисунок 11). Наружная оболочка одинарного резервуара не способна удерживать продукт, а предназначена только для защиты изоляции от атмосферных воздействий.

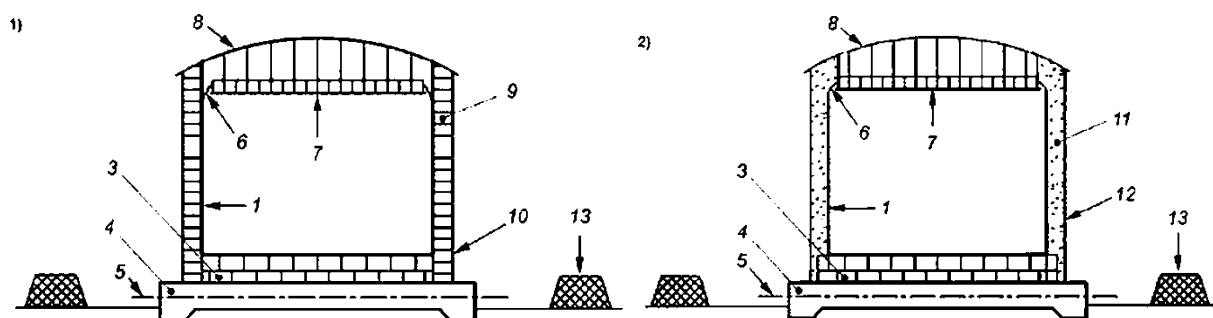


Рисунок 11 – Примеры резервуаров с одинарной оболочкой [4]:

- 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

Так как только внутренняя оболочка одинарного резервуара может выдержать гидростатическое давление СПГ, то в случае ее повреждения продукт вытечет наружу. Для удержания возможных разливов СПГ одинарный резервуар окружается защитной дамбой.

Двойной изотермический резервуар

Двойной резервуар состоит из непроницаемого для жидкости и паров

					Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		39

первичного контейнера, представляющего собой одинарный стальной или бетонный резервуар, заключенный внутри открытого сверху, но непроницаемого для жидкости вторичного контейнера.

Вторичный контейнер проектируется таким образом, чтобы полностью удерживать жидкое содержимое первичного контейнера в случае его протекания (рисунок 12).

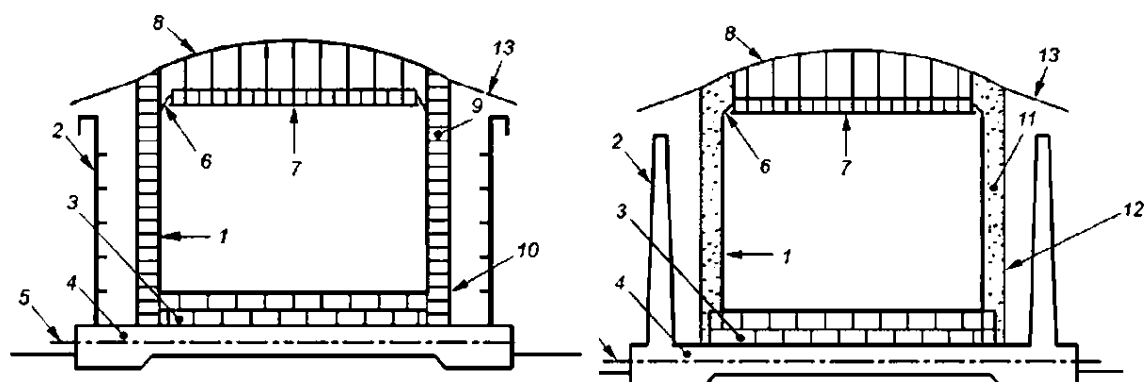


Рисунок 12 – Примеры двойных резервуаров [4]:

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)

Вторичный контейнер открыт сверху и соответственно, не способен удерживать пары продукта. Пространство между первичным и вторичным контейнером может накрываться «дождевым щитом» для предупреждения попадания дождевой воды, снега, грязи и т. п.

Пространство между первичным и вторичным контейнерами не может превышать 6,0 м.

Двухоболочечный изотермический резервуар

Двухоболочечный резервуар закрытого типа состоит из первичного (внутреннего) и вторичного (внешнего) контейнеров, которые вместе образуют единый резервуар-хранилище (рисунок 13).

					Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		40

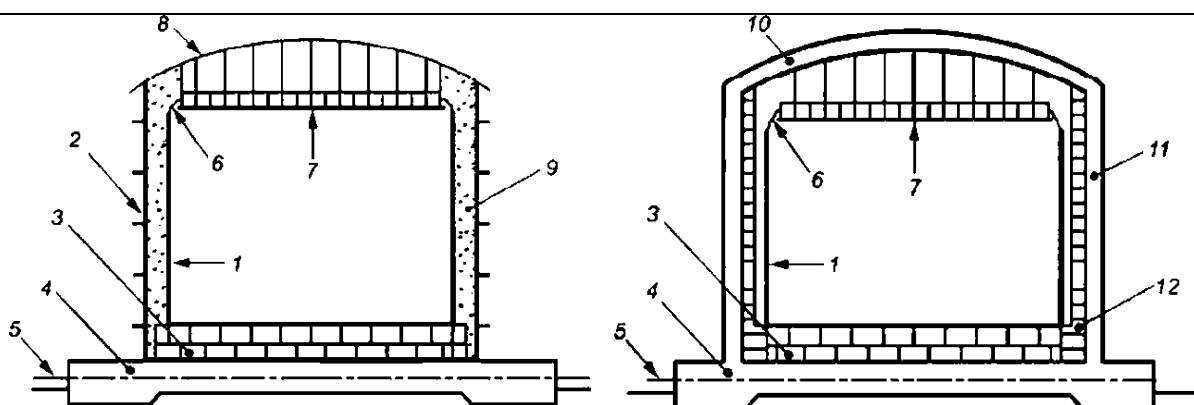


Рисунок 13 – Примеры двухболоочечных резервуаров [4]:

- 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

Внутренняя емкость может быть открытой сверху или иметь подвесную крышу для удержания паров продукта.

Внешняя емкость может быть выполнена как свободностоящий стальной или железобетонный резервуар, оснащенный купольной крышей и рассчитанный на комбинированное выполнение следующих функций.

При стандартной эксплуатации резервуара - заключать в себе термоизоляцию первичного контейнера и в случае первичного контейнера с открытым верхом служить в качестве первичной паровой герметизации резервуара.

В случае разгерметизации первичного контейнера вторичный должен полностью удерживать продукт и сохранять паронепроницаемость конструкции. Допускается контролируемый выброс паров в атмосферу системой сброса давления.

Межстенное пространство между первичным и вторичным контейнерами не должно превышать 2,0 м.

Мембранный изотермический резервуар

Мембранный резервуар состоит из тонколистового стального первичного контейнера (мембраны) с термоизоляцией и железобетонного резервуара

					Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		41

ра, образующих вместе единую составную конструкцию, которая обеспечивает хранение жидкости (рисунок 14).

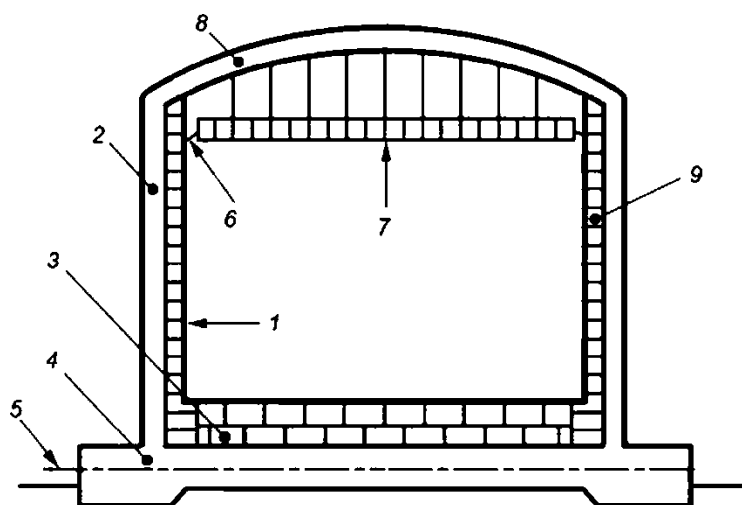


Рисунок 14 – Пример мембранного резервуара [4]:

- 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

Первичный контейнер (мембрана), контактирующий с СПГ, представляет собой оболочку, состоящую из гофрированных в двух взаимно перпендикулярных направлениях листов нержавеющей стали толщиной не менее 1,2 мм. Ортогональные гофры компенсируют температурные деформации, что делает мембрану нечувствительной к тепловым нагрузкам. Мембранная оболочка крепится на внутреннюю сторону внешней железобетонной оболочки через слой изоляции. Все гидростатические нагрузки с мембраны передаются через изоляцию на железобетонный резервуар.

Пары удерживаются крышей резервуара, которая может иметь такую же составную конструкцию или представлять собой газонепроницаемую купольную крышу с изоляцией на висячей крыше.

Французской компанией GazTranspoit&Technigaz [65] разработана мембранная система GST (рисунок 15 [66-67]) для резервуаров, изоляционная панель в которой состоит из двух слоев фанеры, двух слоев усиленного пенополи-

					Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		42

уретана и слоя композитного материала триплекса (тонкий лист алюминия между слоями стекловолокна и смолы). В случае нарушения целостности гофрированного листа композитный слой обеспечивает герметичность резервуара и принимает на себя внутренние напряжения. Внешняя оболочка из армированного бетона обеспечивает устойчивость к внутренним и внешним нагрузкам, а гидроизолирующий слой предотвращает попадание влаги в резервуар.

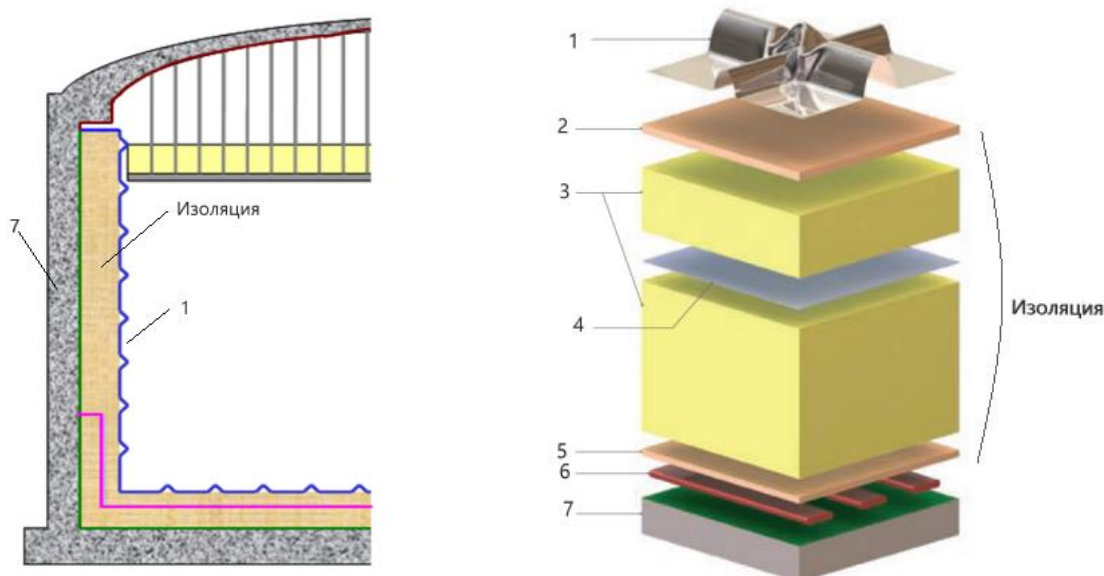


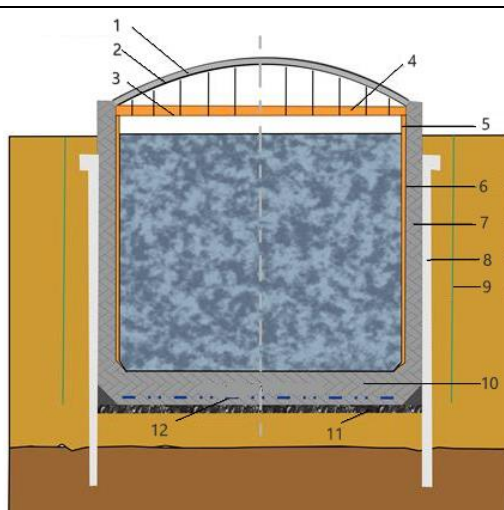
Рисунок 15 – Мембранная система GST [66, 67]:

1 – первичный барьер (гофрированная мембрана); 2, 5 – фанера;
3 – усиленный пенополиуретан; 4 – вторичный барьер (триплекс); 6 – мастика;
7 – преднапряжённый бетон, покрытый гидроизоляцией

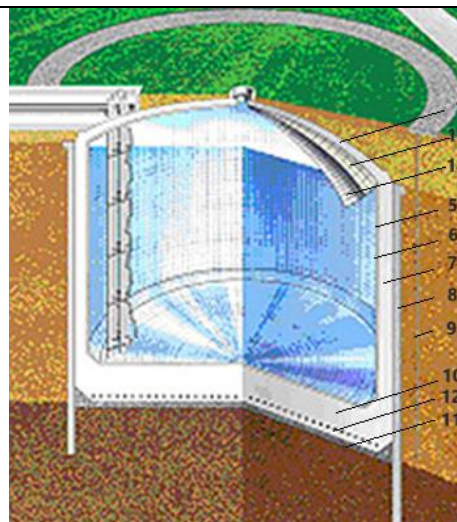
Разновидностью наземных ИР являются металлические вертикальные цилиндрические резервуары, заглубленные частично или полностью в грунт. Конструктивно такие резервуары принципиально не отличаются от наземных мембранных резервуаров (рисунок 16 [68-69]).

Крыши заглубленных и подземных резервуаров могут быть двух типов: подвесная платформа (рисунок 16, а) и купольная крыша с внутренней изоляцией (рисунок 16, б).

					Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		43



а)



б)

Рисунок 16 – Примеры заглубленного (а) и подземного (б) резервуаров

1 – железобетонная крыша; 2 – стальная крыша; 3 – подвесная платформа; 4 – теплоизоляция из стекловаты; 5 – твердая полиуретановая изоляция; 6 – мембрана из нержавеющей стали; 7 – железобетонная стенка; 8 – железобетонная шпунтовая стенка; 9 – боковой подогреватель; 10 – железобетонное дно; 11 – основание из гравия; 12 – подогреватель основания; 13 – изоляция крыши; 14 – мембрана крыши

Аналогично наземным мембранным ИР гофрированная мембрана заглубленного резервуара обеспечивает хранение продукта и компенсацию температурных напряжений, а изоляция из жесткого пенополиуретана ограничивает проникновение тепла снаружи и передает внутренние напряжения с мембраны на внешнюю железобетонную плиту.

Корпус подземных резервуаров подвергается внешнему воздействию грунта и воды, поэтому железобетон, имеющий высокий предел прочности на сжатие, является идеальным материалом.

Для ограничения промерзания грунта вокруг данного резервуара встраивается контур с горячей водой.

Подземное расположение резервуара сокращает интенсивность теплопритоков из атмосферы. Все типы заглубленных и подземных резервуаров обладают высоким уровнем безопасности. Подземные резервуары более устойчивы к сейсмическим колебаниям, что делает их более безопасными в районах, подверженных землетрясениям. В случае аварийной разгерметизации резервуара, весь СПГ останется ниже уровня земли.

					Конструктивные особенности изотермических резервуаров для хранения СПГ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		44

4. **Металлоконструкции изотермических резервуаров для хранения СПГ**

Большинство материалов, применяемых для производства оборудования, подвержено охрупчиванию при воздействии низких температур. Так как температура хранения СПГ находится в диапазоне от минус 166 °С до минус 157 °С, то материалы, применяющиеся для изотермических резервуаров, должны обладать достаточной ударной вязкостью, для обеспечения устойчивости конструкции к хрупкому разрушению.

Материалы, которые не становятся хрупкими при контакте с СПГ и области их применения приведены в таблице 8 [3] .

Таблица 8 – Материалы, используемые в прямом контакте с СПГ

Наименование	Область применения
Аустенитная нержавеющая сталь	Резервуары, сливные рукава, болты и гайки, трубопроводы и фитинги, насосы, теплообменники
9 %-ная никелевая сталь	Резервуары
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

Согласно ГОСТ Р 58032-2017 [5] листовые стали классифицируются следующим образом:

- сталь, тип I: углеродисто-марганцевая сталь для низких температур;

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Металлоконструкции изотермических резервуаров для хранения СПГ	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	45	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

- сталь, тип II: специальная углеродисто-марганцевая сталь для низких температур;
- сталь, тип III: сталь с малым содержанием никеля;
- сталь, тип IV: улучшенная сталь с 9-процентным содержанием никеля;
- сталь, тип V: аустенитная нержавеющая сталь.

Выбор конкретного типа стали, для внутренней емкости ИР, находящейся в прямом контакте с СПГ, обусловлен температурой хранения продукта (таблица 9 [5]).

Таблица 9 – Продукт и типы стали

Продукт	Одинарный резервуар	Двойной или двухоболочечный резервуар закрытого типа	Мембранный резервуар	Расчетная температура хранения продукта
Бутан	Тип II	Тип I		-10 °C
Аммиак	Тип II	Тип II		-35 °C
Пропан (Пропилен)	Тип III	Тип II	Тип V	-50 °C
Этан (Этилен)	Тип IV	Тип IV	Тип V	-105 °C
СПГ	Тип IV	Тип IV	Тип V	-165 °C

Из таблицы 9 видно, что первичные контейнеры одинарных, двойных и двухоболочечных надземных резервуаров для СПГ обычно выполняются из улучшенной стали с 9 %-процентным содержанием никеля, а внутренние емкости подземных резервуаров – из аустенитной нержавеющей стали. Также в других источниках [48, 70] приводится применение 36%-ного никелевого сплава в качестве материала мембран подземных ИР СПГ.

В Таблице 10 приведены требования стандартов ASTM и JIS для 9%-ной никелевой стали [70]. На сегодняшний день ПАО «Северсталь» изготовлен и сертифицирован прокат из стали X7Ni9 по стандартам EN и ASTM, характеристики которой согласно [72] также приведены в указанной таблице.

Таблица 10 – Требования стандартов ASTM и JIS для 9%-ной Ni стали

Стандарт	ASTM		JIS G 3127		EN 10028-4:2017	
	A353	A553 Type I	SL9N 520	SL9N 590	X7Ni9	
Максимальная толщина пластины, мм	50	50	50	100	30	50
Углерод C, %	$\leq 0,13$		$\leq 0,12$		$< 0,1$	
Кремний Si, %	0,15-0,40		$\leq 0,30$		$< 0,35$	
Марганец Mn, %	$\leq 0,90$		$\leq 0,90$		0,3 - 0,8	
Фосфор P, %	$\leq 0,035$		$\leq 0,025$		$< 0,015$	
Сера S, %	$\leq 0,035$		$\leq 0,025$		$< 0,005$	
Никель Ni, %	8,50-9,50		8,50-9,50		8,5 - 10	
Предел текучести, мПа	≥ 515	≥ 585	≥ 520	≥ 590	> 585	> 575
Временное сопротивление разрыву, мПа	690-825		690-830		680 - 820	
Относительное удлинение (%), t: Толщина (мм)	≥ 20.0		≥ 21 ($6 \leq t \leq 16$) ≥ 25 ($t > 16$) ≥ 21 ($t > 20$)		> 18	

Внешний резервуар (паровоздушный контейнер) обычно выполняется из углеродистой стали, которая по ГОСТ Р 58032-2017 [5] выбирается в соответствии с таблицей 11 [5].

Таблица 11 – Сталь для паровоздушного контейнера

Расчетная температура металла T_{DM} , °C	Толщина e , мм	Марка материала согласно EN 10025:2004	Российские аналоги
в соответствии с ГОСТ Р 58032-2017 [5]			в соответствии с [71]
$T_{DM} \geq 10$	$e \leq 40$	S235JRG2, S275JR, S355JR	Ст3сп, Ст4пс, 17Г1С
$10 > T_{DM} \geq 0$	$e \leq 13$ $13 < e \leq 40$	S235JRG2, S275JR, S355JR S235J0, S275J0, S355J0	Ст3сп, Ст4пс, 17Г1С
$0 > T_{DM} \geq -10$	$e \leq 13$ $13 < e \leq 40$	S235J0, S275J0, S355J0, S235J2G3, S275J2G3, S355J2G3	Ст3сп, Ст4пс, 17Г1С, Ст3Гпс, Ст3кп, Ст4кп, 17ГС
$-10 > T_{DM} \geq -20$	$e \leq 13$ $13 < e \leq 40$	S235J2G3, S275J2G3, S355J2G3, S235J2G3, S275J2G3	

5. Тепловая изоляция изотермических резервуаров

Тепловая изоляция резервуара является важным элементом конструкции, обеспечивающим возможность длительного хранения газов в сжиженном состоянии при небольшом избыточном давлении.

Основные функции изоляции в резервуарах-хранилищах определяются ГОСТ Р 58029-2017 [6]:

- поддержание утечки паров ниже определенных пределов;
- защита частей (материалов резервуара), не являющихся низкотемпературными (главным образом внешнего резервуара) посредством поддержания у этих частей требующейся для них температуры среды;
- ограничение охлаждения фундаментов (грунта) под резервуаром для предупреждения повреждения из-за поднятия грунта при промерзании;
- предупреждение (минимизация конденсации) образования льда на внешних поверхностях.

Изоляция не является обособленным структурным элементом резервуара, а крепится на другие структурные элементы, заливается между ними или опирается на них. Кроме того, изоляционные материалы должны быть защищены от разного рода внешних механических повреждений, повреждений огнем или ухудшений качества под действием погодных факторов (ветра, града, ультрафиолетового излучения). Также, изоляция должна иметь защиту от водопоглощения, которое может произойти при дожде, снеге или при проникновении водяного пара.

В двухбололочечных и мембранных резервуарах внешний контейнер

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	48	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

обеспечивает защиту и опорную структуру для изоляции. Но если у таких резервуаров вторичный контейнер выполнен из железобетона, а не из стали, то необходимы дополнительные меры по обеспечению его непроницаемости для водяного пара и паров продукта, например нанесение полимерной пароизоляции.

Для защиты от атмосферных воздействий изоляцию одностенного резервуара покрывают тонкими металлическими листами (например, из алюминия и алюминиевых сплавов).

В настоящее время для теплоизоляции ИР предложено много различных материалов, выбор которых обычно зависит от типа резервуара.

Рекомендуемые ГОСТ Р 58029-2017 [6] изоляционные материалы для одинарных, двойных, двухоболочечных и мембранных резервуаров приведены в приложении Б.

Резервуары с двумя стенками обычно теплоизолируются перлитом, засыпанным в пространство между стен или пеностеклом. Одностенный корпус резервуара теплоизолируется материалами из пеностекла или пенополистирола (только для двойной локализации, по причине его ограниченной температуростойкости). Минеральная вата может применяться в качестве упругого покрытия между перлитовой изоляцией и внутренней оболочкой резервуара.

Основное требование, предъявляемое к ТИ, - низкая теплопроводность. Другие требования сводятся к следующему: малая проницаемость водяных паров, сочетание теплоизоляционных и механических свойств, стойкость к химическому воздействию, огнестойкость, легкость монтажа, надежность в эксплуатации.

Весьма важно, чтобы изоляция с течением времени сохраняла свои теплотехнические свойства. Основную роль здесь играют паро- и водонепроницаемость. Пропитанные влагой теплоизоляционные материалы (ТИМ) пе-

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		49

рестают выполнять свою функцию, а при последующем промерзании, их коэффициент теплопроводности стремится к коэффициенту теплопроводности льда (2,250 Вт/(м·К)), который в десятки раз больше значения данной величины самих изоляционных материалов.

Прочность на сжатие, также является важным свойством изоляционного материала, определяющим его способность сохранять свои тепловые свойства под действие нагрузки.

Способность изоляционного материала противостоять воздействию пламени (горючесть) также очень важный параметр. Законодательно определены пять групп горючести строительных материалов. В соответствии с Федеральным законом № 123 [108] строительные материалы по горючести подразделяются на негорючие (НГ) и горючие, в т.ч.: Г1 (слабогорючие); Г2 (умеренногорючие); Г3 (нормальногорючие); Г4 (сильногорючие).

Согласно ГОСТ 30244-94 [109] строительные материалы относят к негорючим в случае если прирост температуры в печи не более 50°C, потеря массы образца не более 50%, а продолжительность устойчивого пламенного горения не более 10 с. Группа горючести всех остальных материалов определяется в соответствии с таблицей 12.

Таблица 12 – Группы горючести согласно ГОСТ 30244-94 [109]

Группа горючести материалов	Параметры горючести			
	Температура дымовых газов, °C	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

Не существует ТИМ, который бы удовлетворял одновременно всем перечисленным требованиям. Выбор типа изоляции для каждого конкретного случая зависит от многих факторов: от размеров и сложности конфигурации изоляционной конструкции, от допускаемой величины испарения, от стоимо-

сти изоляционного материала, от температуры криогенной жидкости и т.п. Все эти факторы необходимо учитывать.

Рассмотрим типы изоляционных материалов, которые рекомендуются для применения при сооружении ИР СПГ ГОСТ Р 58029-2017 [6], а также некоторые альтернативные инновационные изоляционные материалы. Их характеристики приведены в таблице В.1 Приложения В. Приведённые значения являются ориентировочными, т.к. во всех рассмотренных источниках нет четких данных, а также значения некоторых параметров могут сильно отличаться в зависимости от производителя.

Все типы ТИМ цилиндрических ИР можно разделить на три основные группы: порошкообразные (зернистые), волокнистые и пористые (ячеистые). Каждая из групп этих материалов имеет большое количество газовых полостей. Относительно низкая теплопроводность таких материалов определяется как малой теплопроводностью газа, заполняющего поры, так и самого структурного материала.

Порошкообразные материалы

Для изоляции сосудов со сжиженными газами широко используются порошкообразные ТИМ, имеющие низкий коэффициент теплопроводности.

Перлит – порода, представляющая из себя вулканическое стекло с основой из SiO_2 (70-75%). При резком термоударном нагреве до температур 900-1200°C, вода содержащаяся в породе переходит в пар и вспучивает размягчённую породу (рисунок 16 [110]). При этом объем перлита увеличивается в 5–20 раз.



Рисунок 16 – Перлит от сырья до вспученного песка

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		51

Именно высокая пористость перлита обеспечивает его легкость и высокие теплоизоляционные свойства. Плотность вспученного перлита колеблется от 50 до 600 кг/м³. Для изоляции аппаратов и машин низкотемпературных установок используется вспученный перлитовый порошок с плотностью при свободной насыпке 100 кг/м³. Коэффициент теплопроводности перлита при температуре минус 90 °С по данным [74] составляет примерно 0,025–0,035 Вт/м·К. Вспученный перлит дешев, негорюч и химически инертен.

Но высокопористая структура и открытая гидрофильная поверхность вспученного перлита обуславливает его высокое водопоглощение и гигроскопичность [83-84].

Для насыпной теплоизоляции характерны оседание и уплотнение, возникающие в результате деформации стенок при изменении температуры или под действием ее собственного веса. Оседание и уплотнение изоляции ухудшают ее эксплуатационные свойства и приводят к повышению притока тепла в резервуар.

Для решения этой проблемы насыпную изоляцию в двухстенных резервуарах применяют в комбинации с слоем эластичного материала, частично компенсирующего тепловые деформации конструкций. Компенсационный слой делают из эластичного минерального войлока или упругих стекловолоконных матов [75, 56].

Волокнистые материалы

Одним из самых распространённых волокнистых материалов является минеральная вата, которая в зависимости от исходного сырья подразделяется на стеклянную, шлаковую и каменную вату.

Согласно данным источников [76-80] только каменная (базальтовая) вата подходит для целей изотермического хранения СПГ, ввиду широкого диапазона рабочей температуры от минус 180 до плюс 750 °С.

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Каменная (базальтовая) вата производится из горных пород на основе базальта. Этот камень дробят, переплавляют, а затем насыщают специальными добавками. Выпускается базальтовая вата в виде рулонов или плит (рисунок 17 [76]). Толщина взятого в отдельности волокна составляет 3-5 мкм, а длина не превышает 16 мм. Теплопроводность базальтовой ваты составляет примерно от 0,031-0,042 Вт/(м·К) [76-78].



Рисунок 17 – Плиты базальтовой ваты

Будучи достаточно легкой, каменная вата хорошо сопротивляется нагрузкам, не слеживается в процессе эксплуатации (т.к. часть волокон базальтовой ваты располагается вертикально), а также способна выдерживать температуры до 750°C. Согласно исследованиям [81-82] качественная минеральная вата является гидрофобным ТИМ, и при непродолжительном воздействии влаги остается сухой и сохраняет свои теплозащитные свойства.

Из самых известных производителей волокнистых теплоизоляционных материалов можно выделить: «Rockwool», «Knauf», «Izovol», «Ursa», «Paroc», «Izomat».

Пористые теплоизоляционные материалы [85-88]

Пеноматериалы могут иметь как органическое, так и неорганическое происхождение. Наиболее широко используются органические материалы – пенопласты.

Различают два вида пенополистиролов: вспененный и экструдирован-

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		53

ный (рисунок 18 [85-86]). Они имеют близкие химические свойства, т.к. производятся из одного сырья, но из-за различной технологии производства имеют разные характеристики. Оба изоляционных материала выпускаются в виде плит.

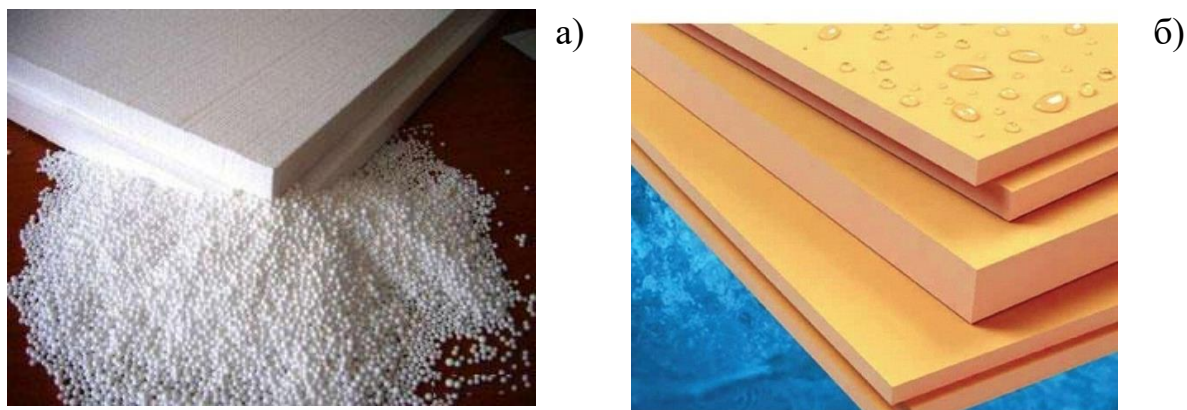


Рисунок 18 – Примеры плит пенополистирола
а) вспененный пенополистирол; б) экструдированный пенополистирол.

Вспененный пенополистирол чаще всего называют просто пенопластом. Он состоит из гранул размером 2-8 мм, которые на 98% состоят из воздуха. Пенополистирол влагостоек (влагопоглощение 0,5-4%), но имеет малую термостойкость. Кроме этого, пенополистирол горюч, а при насыщении кислородом взрывоопасен.

Экструдированный пенополистирол является более глубокой формной переработки вспененного полимера. Это материал с равномерной структурой, которая состоит из полностью закрытых ячеек размером 0,1-0,2 мм.

Вспененный пенополистирол в несколько раз дешевле экструдированного, вследствие более простого производства и низких теплоизоляционных качеств. Экструдированный пенополистирол не пропускает влагу (влагопоглощение 0,2-0,4 %), не горюч и имеет более низкий коэффициент теплопроводности (0,031 - 0,038 Вт/(м·К)). Связь между молекулами экстрадированного пенополистирола выше, поэтому он более прочный, чем вспененный. Оба вида пенополистирола разрушаются, становятся менее упругими и проч-

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		54

ными под действием прямых солнечных лучей.

Производят пенополистирол следующие компании: «Пеноплекс», «Технониколь», «Dow Chemical», «Ursa», «Styrex», «Теплекс», Химический завод им. Л. Я. Карпова («Тимлэкс»), «Пеностэкс» и многие другие.

К неорганическим пенопластам относится пеностекло. Пеностекло – ячеистый материал, получаемый термической обработкой смеси порошкообразного стекла и газообразователя. Выпускается в виде плит и блоков плотностью 100–200 кг/м³. Материал имеет низкое влагопоглощение и сравнительно низкий коэффициент теплопроводности – 0,03–0,7 Вт/м·К [90-92].

Эффективным материалом для изоляции ИР является пеностекло «Foamglas» бельгийской фирмы «Pittsburgh Corning» (рисунок 19 [89]), имеющее температурный режим эксплуатации от минус 260°С до 430°С. Это пеностекло представляет собой ячеистый материал со структурой пены, с диаметром ячеек 0,5-1 мм.



Рисунок 19 – Основные свойства пеностекла FOAMGLAS®

Пеностекло «Foamglas» является абсолютно паровлагонепроницаемым материалом и не снижает своих теплотехнических характеристик в процессе эксплуатации, не усыхает и не вспучивается, имеет высокие прочностные

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		55

свойства (таблица 13 [93]). Кроме того, FOAMGLAS®, не абсорбирует жидкие и газообразные вещества или углеводородные соединения повышенной воспламеняемости, которые в процессе эксплуатации могут повысить риск возгорания материала.

Таблица 13 – Теплотехнические характеристики пеностекла FOAMGLAS®

Теплопроводность (Вт/м·К), не более	FOAMGLAS T4+	FOAMGLAS S3	FOAMGLAS F
При температуре, °С			
-170	0,0197	0,0246	0,0305
-160	0,0205	0,0254	0,0313
-130		0,0278	0,0337
Горючесть	НГ		
Паропроницаемость, мг/м·ч·Па	0		
Водопроницаемость, кг/м ²	0		
Гигроскопичность	0		
Капиллярность	0		
Водопоглощение, не более кг/м ²	0,5		
Температура размягчения, °С	>1000		
Коэффициент теплового расширения, К ⁻¹	9·10 ⁻⁶		

Теплопроводность пеностекла «Foamglas» при температуре хранения СПГ (-160 °С) в зависимости от марки может составлять 0,02-0,03 Вт/м·К.

Пеностекло НЕОПОРМ®, разработанное и запатентованное в нашей стране компанией «СТЭС-ВЛАДИМИР», уже применялось в качестве теплоизоляции для оборудования ОАО «Ямал СПГ». Может полностью заменить пеностекло, поставляемое в Россию из других стран.

Пеностекло НЕОПОРМ®, обладает всем комплексом важнейших свойств эффективной теплоизоляции (таблица 16 [94]): низкой теплопроводностью, широким диапазоном температур применения, низким водопоглощением, абсолютной негорючестью, высокой прочностью, химической устойчивостью и долговечностью. Коэффициент теплопроводности этого пеностекла марки D 130 при температуре хранения СПГ составляет приблизительно 0,025 Вт/м·°С (по данным рисунка 20 [95]).

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Таблица 14 – Физико-технические характеристики плит пеностекла НЕ-ОПОРМ®

Наименование показателя, ед. измерения	Марка			
	D 110	D 130	D 150	D 180
Плотность, кг/м ³ ±10%	100-120	121-140	141-160	161-200
Теплопроводность при +25°C (Вт/м·К), не более	0,045	0,050	0,055	0,060
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	0,8	1,0	2,0	2,5
Водопоглощение, % по объему, не более	2	2	2	2
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па), не более	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Группа горючести	НГ			

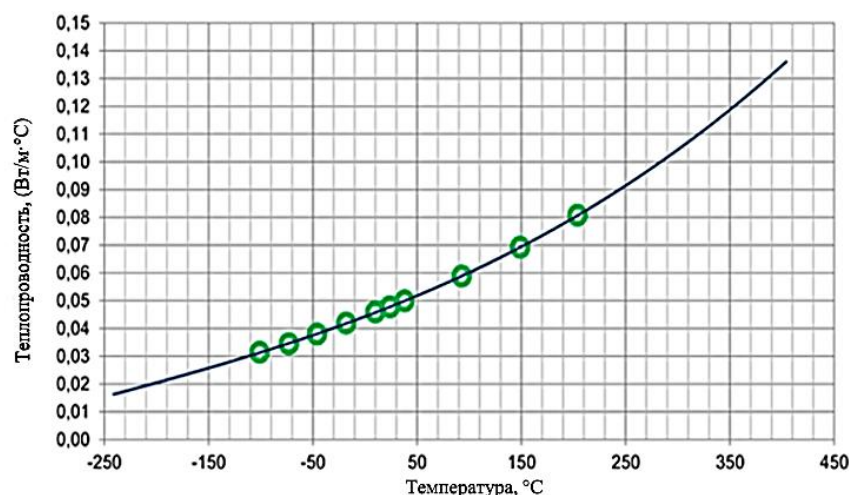


Рисунок 20 – Зависимость теплопроводности от температуры пеностекла НЕ-ОПОРМ® Марки D 130

Фирмами «Armacell» [96-98] и «K-FLEX» поставляются на отечественный рынок ТИМ из вспененного синтетического каучука для оборудования с отрицательными температурами до -200 °С. Вспененный каучук это гибкие пеноматериалы с закрытоячеистой структурой (рисунок 21 [96]). Материалы производятся в виде изоляционных цилиндров плотностью 55-80 кг/м³ или эластичных листовых и плитных изделий – 40-65 кг/м³. Материал обладает высокой степенью стойкости к влагопоглощению и паропроницанию. Изоляция из вспененного каучка слабогорючая и обладает свойством самозатухания.

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		57

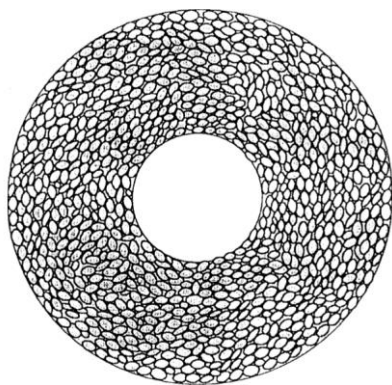


Рисунок 21 – Пример теплоизоляции из вспененного синтетического каучука

Если температура изолируемой поверхности ниже минус 110°С (до минус 196°С), то для конструкции теплоизоляции от компании Armacell используются комплексные технические решения от – «Armaflex криогенные системы», которые предусматривают применение многослойных конструкций, состоящих из слоев ТИМ марок Armaflex LTD или HT/Armaflex в качестве первых слоев и последующих слоев марок AF/Armaflex или HT/Armaflex (рисунок 22 [97]).

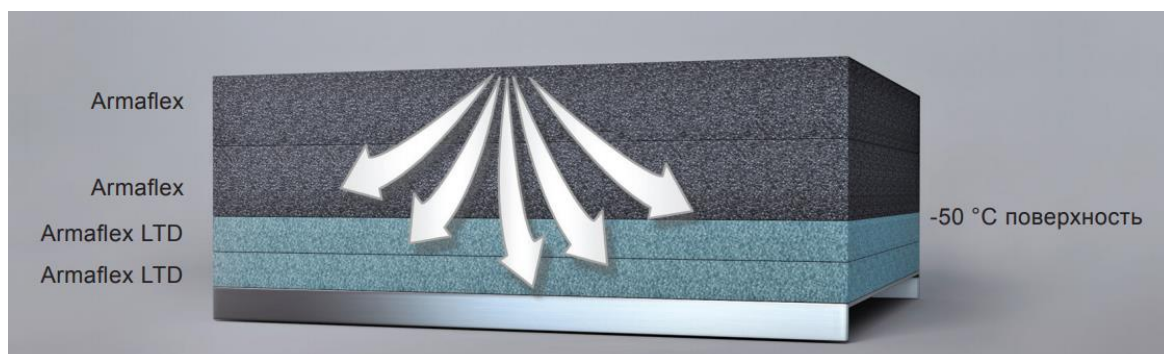


Рисунок 22 – Теплоизоляционная система «Криогенные системы Armaflex»

Внутренние слои из материала Armaflex LTD обеспечивают оптимальные механические свойства (эластичность и минимальные температурные напряжения), в то время как внешние слои Armaflex дают превосходную теплоизоляцию при минимальной стоимости. Armaflex LTD имеет отличительный цвет, что облегчает монтаж и проверки. Такая система не требует установки пароизоляции поверх изоляционного материала, т.к. эта функция вы-

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
						58
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

полняется благодаря высокому сопротивлению прониканию водяного пара самого материала Armaflex (таблица 15 [97]). Также, в материалах Armaflex малый вес (низкая плотность) сочетается с низкой теплопроводностью.

Таблица 15 – Основные технические характеристики Armaflex

Свойства	Марка	
	Armaflex LTD	AF/Armaflex и Armaflex HT
Тип материала	Трехкомпонентный диеновый полимер	Нитрилбутадиеновый каучук
Рекомендуемая рабочая температура, °C	-200 °C...+125	-50 °C...105 °C
Теплопроводность, (Вт/м·К)	0,028 при -100 °C 0,021 при -165 °C	0,033 при 0 °C 0,028 при -50 °C
Плотность, кг/м ³	60 – 70	40 – 60
Количество закрытых ячеек	> 95 %	> 95 %
Прочность на разрыв, МПа	0,30 при -100 °C 0,25 при -165 °C	0,15 при 0 °C 0,18 при -40 °C
Сопротивление сжатию	≤ 0.37 Н/мм ² (деформация 2 мм) при -100 °C	≤ 0.16 Н/мм ² (деформация 2 мм) при -40 °C
Паропроницаемость	НП	<7,128 10 ⁻⁵ мг/(м·ч·Па)
Коэффициент сопротивления диффузии водяного пара (μ)	НП	μ > 10,000
Горючесть	Г1 (слабо горючие)	

Теплоизоляция фирмы K-FLEX марок K-FLEX ST и K-Flex ENERGO, предназначенная для работы в диапазоне температур до -200 °C, что обуславливает возможность ее применения для ИР СПГ. ТИ этих марок изготавливается из бутадиен-нитрилакрилового каучука и имеет схожие свойства с ТИ Armaflex: низкая теплопроводность, высокий фактор сопротивления диффузии водяного пара, высокая паро- и водонепроницаемость, стойкость к агрессивным и химическим средам, высокая огнестойкость и низкая токсичность продуктов горения, а также устойчивость к ультрафиолетовому излучению (таблица 16 [99-103]).

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Таблица 16 – Технические характеристики ТИ K-FLEX

Свойства	Марка	
	K-FLEX ST [99-101]	K-Flex ENERGO [101-103]
Тип материала	Бутадиен-нитрилакриловый каучук с улучшающими добавками	
Диапазон рабочих температур, °C	от – 200 до +105	
Коэффициент теплопроводности Вт/(м·°C)	0,029 при –50°C 0,024 при – 100°C	0,031 при –50°C 0,026 при – 100°C
Плотность, кг/м ³	40±15	65±15
Сопротивление диффузии водяного пара	μ>7000	μ>16000
Водопоглощение за 24 часа по объему при полном погружении, %	≤2,4	≤0,5
Горючесть	Г1 Трудносгораемый самозатухающий материал, не распространяет пламя	Г1

Cryogel™Z

Компания Aspen Aerogels разработала изоляционный материал Cryogel™Z, теплопроводность которого в 2-8 раз ниже теплопроводности других изоляционных материалов применяемых в условиях сверхнизких температур. Основу материала Cryogel™Z составляют игольчатый полиэстер и стекловолокно, насыщенные частицами аэрогеля диоксида кремния (рисунок 23 [104-105]).

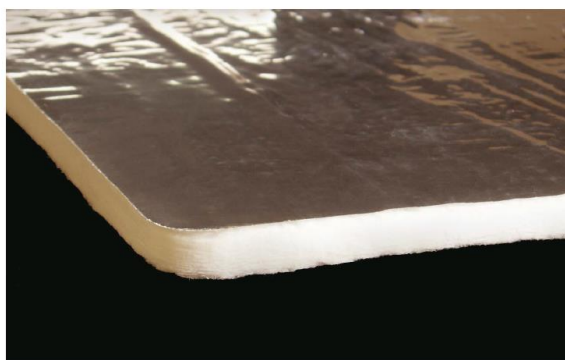


Рисунок 23 – Изоляционный материал Cryogel™Z

Покрытие материала выполнено алюминиевой фольгой, дублированной

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		60

полимерной пленкой. Игольчатый материал был создан специально для того, чтобы увеличить прочность и эластичность материала, необходимую для изоляции, т.к. сам по себе аэрогель очень хрупкий материал.

Аэрогели – это класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной, вследствие чего вещество обладает рекордно низкой плотностью ($1,9 \text{ кг/м}^3$), всего в полтора раза превосходящей плотность воздуха ($1,27 \text{ кг/м}^3$), и рядом других уникальных качеств: твердостью, прозрачностью, жаропрочностью, чрезвычайно низкой теплопроводностью ($\sim 0,017 \text{ Вт/(м·К)}$ для кварцевых аэрогелей) и отсутствием водопоглощения. Было доказано, что образцы аэрогеля могут выдерживать нагрузку в две тысячи раз больше собственного веса (рисунок * , б [106]). Структуру аэрогеля образуют сферические кластеры из кварца диаметром около 2-5 нм и поры, заполненные воздухом, размерами до 100 нм. До 99,8 % объема геля занимает воздух (рисунок 23, а [107]).

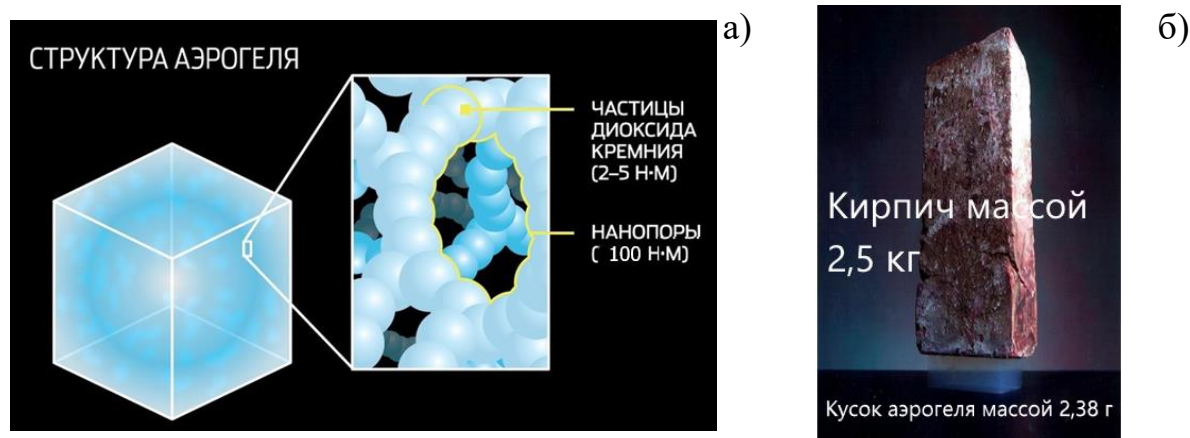


Рисунок 23 – Аэрогель
а) структура аэрогеля; б) пример нагрузки аэрогеля

Теплоизоляция, выполненная из материала Cryogel™Z , имеет более высокий уровень термостойкости, чем из других материалов, даже при меньшей толщине (таблица 17 [104]). Материал легко режется и может повторять любую форму. Cryogel – мягкий, эластичный и упругий материал (сохраняет все теплоизоляционные свойства даже после сильного сжатия под давлением до 1,7 МПа).

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		61

Таблица 17 – Технические характеристики Cryogel™Z

Тип материала	Cryogel™Z
Диапазон рабочих температур, °C	-260...90
Коэффициент теплопроводности Вт/(м·К)	при -100°C 0,0123 при -160°C 0,0112
Плотность, кг/м ³	130
Эластичность при сверхнизкой температуре	Упругий эластичный
Поглощение водяного пара	< 1,1% (МАССА)
Удерживание влаги после погружения в воду	< 4 % (МАССА)
Коэффициент теплового расширения [от -160°C до 20°C]	13,1·10 ⁻⁶ /°C
Гидрофобность	Водонепроницаем
Горючесть	НГ

					Тепловая изоляции изотермических резервуаров	Лист
						62
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

6. Расчетная часть

6.1. Анализ современных методик расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ

Как уже было показано в литературном обзоре, на сегодняшний день в нашей стране имеется незначительное число нормативных документов по ИР СПГ, но даже существующие, не содержат методик по расчету тепловых режимов ИР.

Несмотря на это, такими отечественными авторами как Рахманин А.И., Иванцова С.Г, Рачевский Б.С., Вакуненко В.А., Пирогов С.Ю. написано достаточно работ, посвященных расчёту теплового потока через стенки ИР (таблица 18).

Таблица 18 – Методики расчета теплового потока через изоляцию

Тепловой поток через единицу поверхности					Особенности		
Для плоской стенки		Для цилиндрической стенки					
Выводы из закона Ньютона – Рихмана [119-120]							
$q_{\text{н}} = \alpha_{\text{н}}(t_{\text{н}} - t_i); q_{\text{вн}} = \alpha_{\text{вн}}(t_{i+1} - t_{\text{ж}})$					Расчет переноса теплоты между поверхностью стенки и жидкой или газообразной средой		
Выводы из закона Фурье [119-120]							
$q_i = \frac{\lambda_i}{\delta_i} \cdot (t_i - t_{i+1})$			$q_i = \frac{2\pi(t_i - t_{i+1})}{\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}$			Расчета теплового потока через i-й слой плоского объекта	
Пирогов С.Ю. Природный газ. Метан: справочник [21]							
$q = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{в}})$						Расчет массы потерь на испарение СПГ: $M_{\text{исп}} = \frac{\lambda_{\text{из}} \cdot \Delta T \cdot F}{\delta_{\text{из}} \cdot r} \cdot \tau_{\text{хр}}$	
Рачевский Б.С. [11]							
$q = k(t_{\text{н}} - t_{\text{в}}); k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}}$						Расчет хладопроизводительности установки поддержания режима хранения: $Q_r = Fk\Delta t$	

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении						
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата							
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Расчетная часть				Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19					ДР	63	135
Консульт.									ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19							

Иванцова С.Г., Рахманин А.И. [56]		
	$\begin{cases} q_H = \alpha_H \pi d_i H(t_H^* - t_i); \\ q_1 = \frac{\pi H(t_i - t_{i+1})}{\frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}; \\ q_{BH} = \alpha_{BH} \pi d_{i+1} H(t_{i+1} - t_{ж.}). \end{cases}$	Доказательства возможной аппроксимации цилиндрической поверхности многослойной стенки ИР СПГ плоскостью.
Рахманин А.И., Иванцова С.Г. [40]		
$q = \frac{t_H - t_{ж.}}{R}; R = \frac{1}{\alpha_H} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{BH}};$		Тепловой расчет ИР при уплотнении изоляции
СП-41-103-2000 [53]; СП-61.13330.2012 [54]; Armacell [98]; K-Flex [121].		
$q = \frac{(t_B - t_H) \cdot K}{R_{BH} + \sum_{i=1}^n R_i + R_H}$ $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}; R_H = \frac{1}{\alpha_H}; R_{BH} = \frac{1}{\alpha_{BH}}$	$q_L = \frac{(t_B - t_H) \cdot K}{R_{BH}^L + \sum_{i=1}^n R_i^L + R_H^L}$ $R_{BH}^L = \frac{1}{\pi d_{BH}^{CT} \alpha_{BH}}; R_i^L = \frac{1}{2\pi \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_H^i}{d_{BH}^i};$ $R_H^L = \frac{1}{\pi d_H^{из} \alpha_H}$	Не применяется для ИР СПГ
ISO 12241		
$q = \frac{t_B - t_H}{R}; R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$	$q = \frac{t_B - t_H}{R_1}; R_1 = \frac{\ln \frac{d_H}{d_{BH}}}{2\pi \lambda}$	
R_{BH}, R_H – сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта и на наружной поверхности теплоизоляции, $m^2 \cdot K/Вт$; d_H^i и d_{BH}^i – внутренний и наружный диаметры i-го слоя n-слойной изоляции, м; K – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях.		

Изучив работы этих авторов, можно сделать вывод, что все предлагаемые ими методики основываются на законах теплопроводности Фурье и Ньютона – Рихмана.

Расчет теплового потока через многослойные плоские (1) и цилиндрические (2) поверхности на основании закона Фурье имеет следующий вид:

$$q_i = \frac{\lambda_i}{\delta_i} \cdot (t_i - t_{i+1}), \text{ кг/с}^3 \quad (1)$$

$$q_i = \frac{2\pi(t_i - t_{i+1})}{\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}, \text{ кг} \cdot \text{м/с}^3 \quad (2)$$

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

					Расчетная часть	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		64

δ_i – толщина i -го слоя n -слойной стенки, м;

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

d_i и – диаметр i -го слоя n -слойной стенки, м.

Для расчета переноса теплоты между поверхностью стенки и жидкой или газообразной средой используется закон Ньютона – Рихмана, который для наружной (3) и внутренней (4) поверхностей имеет следующий вид:

$$q_n = \alpha_n(t_n - t_i), \text{ кг/с}^3 \quad (3)$$

$$q_{вн} = \alpha_{вн}(t_{i+1} - t_{ж}), \text{ кг/с}^3 \quad (4)$$

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

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

t_n – температура окружающей среды, °С.

Компании, предлагающие на отечественном рынке низкотемпературную ТИ (Armacell и K-Flex), ссылаются на методики, приведенные в документах [53] и [54], которые, как уже говорилось ранее не могут применяться для ИР СПГ. Кроме того, Armacell использует ISO 12241 [123]. Все основные формулы для расчета теплового потока, приведенные в этих документах, также аналогичны основным законам теплопередачи (таблица 18).

Все предложенные методики делятся на методики расчета цилиндрической и плоской поверхностей.

Иванцова С.Г. и Рахманин А.И. в своей статье [56] расчет теплового потока через многослойную ограждающую конструкцию стенки ИР основывают на вышеуказанных законах:

$$\begin{cases} q_n = \alpha_n \pi d_i H(t_n^* - t_i); \\ q_1 = \frac{\pi H(t_i - t_{i+1})}{\frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}; \\ q_{вн} = \alpha_{вн} \pi d_{i+1} H(t_{i+1} - t_{ж}). \end{cases} \quad (5)$$

где t_n^* – фиктивная температура наружного воздуха, учитывающая нагрев от солнечного излучения, К;

					Расчетная часть	Лист
						65
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

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

H – высота смоченной части корпуса, м.

Фиктивная температура t_n^* вводится для того, чтобы учесть облученность внешней поверхности железобетонной стенки, контактирующей с атмосферой:

$$t_n^* = t_2 + \frac{Q_{\text{рад}} \cdot \varepsilon_{\text{жб}}}{\alpha_n} \quad (6)$$

Кроме того, в работе приводятся доказательства того, что при тепловых расчетах ИР с малой погрешностью можно аппроксимировать цилиндрические поверхности многослойной стенки резервуара плоскостью (таблица 19).

Таблица 19 – Сопоставление температурных полей ограждающих конструкций ИР СПГ [56]

Показатель	Цилиндрическая поверхность	Плоская поверхность	Погрешность, %
Тепловой поток через многослойную конструкцию стенки резервуара q , кВт	60,97	61,55	0,95
Температура внешней поверхности железобетонной стенки внешнего резервуара, °С.	36,984	36,981	0,008
Температура внутренней поверхности железобетонной стенки внешнего резервуара, °С.	34,922	34,912	0,027

Методика, представленная в справочнике «Метан» [21], элементарна и позволяет рассчитать массу продукта, потерянного в результате испарения при изотермическом хранении СПГ:

$$M_{\text{исп}} = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}} \cdot r} \cdot \Delta T \cdot F \cdot \tau_{\text{хр}}, \text{ кг} \quad (7)$$

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

$\delta_{\text{из}}$ – толщина изоляции, м;

$\tau_{\text{хр}}$ – время хранения, с;

r – удельная теплота испарения продукта, Дж/кг.

Использование данной методики для расчета теплового потока жела-

					Расчетная часть	Лист
						66
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

тельно только в случае рассмотрения теплообмена через однослойную стенку при постоянном коэффициенте теплопроводности $\lambda = \text{const}$. Но на практике λ является переменной величиной и зависит от температуры и плотности материала.

Рачевский Б.С [11] также приводит методику расчета для плоской стенки, но с учетом многослойности изоляции:

$$q = k(t_n - t_b), \text{ кг/с}^3 \quad (8)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{bn}}}. \quad (9)$$

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

Способов определения коэффициента теплопроводности в книге также нет. Зато, автор предлагает формулу расчета холодопроизводительности установки поддержания режима бездренажного хранения:

$$Q_r = Fk(t_n - t_b), \text{ Вт} \quad (10)$$

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

F – площадь поверхности резервуара, м².

Исследованию теплового режима ИР с нарушенной ТИ посвящены работы Рахманина А.И. [17,40]. При эксплуатации хранилища с засыпной перлитовой изоляцией в результате температурных деформаций происходит уплотнение перлита и образование воздушной прослойки, что в свою очередь приводит к дополнительному тепловому притоку в резервуар.

Коэффициент теплопроводности перлита после его уплотнения $\lambda_n^{\text{упл}}$:

$$\lambda_n^{\text{упл}} = \lambda_n + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{1}{(1 - \frac{h_{\text{пр}}}{H_0})} - 1 \right), \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (11)$$

где λ_n – коэффициент теплопроводности перлита до его уплотнения, Вт/(м·К);

ρ_0 – плотность перлита до уплотнения, кг/м³;

					Расчетная часть	Лист
						67
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

$h_{\text{пр}}$ – высота образовавшейся вследствие уплотнения воздушной прослойки, м;

H_0 – высота резервуара, м.

Влияние воздушных прослоек на тепловой режим резервуара выражается изменением теплового потока. Передача тепла воздушными прослойками $q_{\text{пр}}$ происходит теплопроводностью, конвекцией и излучением. Рахманин А.И. предлагает использовать понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности, введенного К. Хенли, которое объединяет все три вида теплопередачи в одну расчетную величину:

$$q_{\text{пр}} = \frac{\Delta t}{\delta_{\text{пр}}} (\lambda_0 + \lambda_k + \alpha_l \delta_{\text{пр}}), \text{ Вт/м}^2 \quad (12)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха, Вт/(м·К);

λ_k – коэффициент передачи тепла конвекцией, Вт/(м·К);

α_l – коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м²·К);

$d_{\text{пр}}$ – толщина прослойки, м.

Компанией «Стэс-Владимир» для определения зависимости теплопроводности $\lambda(t)$ от температуры эксплуатации t для пеностекла марки D130 предлагается следующая формула (ASTM C1045, р. Х3.3.1.):

$$\lambda(t) = 0.0443 + 1.421 \cdot 10^{-4} \cdot t + 1.46 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 2 \cdot 10^{-10} \cdot t^3 \quad (13)$$

Armaflex в источнике [98] для своих видов изоляции также предлагает зависимости для расчета теплопроводности изоляции, например для листов рассматриваемой ранее марки AF/Armaflex:

$$\lambda(t) = \frac{[36 + 0,1 \cdot T + 0,0008 \cdot T^2]}{1000}, \text{ Вт/м} \cdot \text{К} \quad (14)$$

где $T = t_{\text{ср}}$ - средняя температура теплоизоляционного слоя, °С.

					Расчетная часть	Лист
						68
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

6.2. Определение зависимости потерь на испарение от толщины и типа изоляции

Самым распространённым в мировой практике резервуаром для хранения крупных объемов СПГ является двухболоочечный ИР. Этот тип резервуаров отличается компактностью и более высоким уровнем безопасности, по сравнению с одинарными и двойными резервуарами, а также более простым процессом сооружения, по сравнению с заглубленными.

Поэтому, именно двухболоочечный ИР (рисунок 24) был выбран в качестве объекта исследования в данной работе.

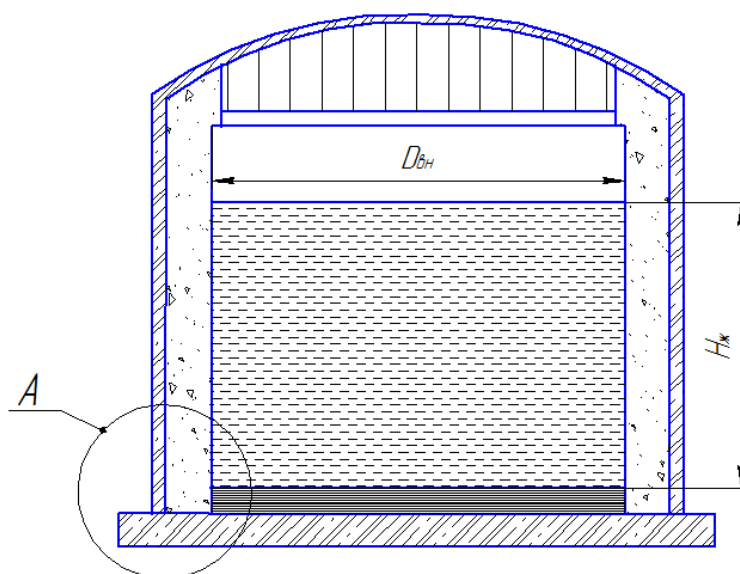


Рисунок 24 – Общий вид исследуемого двухболоочечного ИР

Зададимся резервуаром номинальным объемом $100\,000\text{ м}^3$, элементы конструкции которого приведены в таблице 22. При этом рассмотрим три варианта выполнения изоляции:

1. Вспученный перлит с компенсационными матами из минеральной ваты (рисунок 23, а);
2. Изоляция одной маркой материала: «Foamglas S3», «НЕОПОРМ® D 130», «K-FLEX ST», «Cryogel™Z» (рисунок 23, б);
3. Изоляция двумя марками материалов: «Armaflex LTD», «AF/Armaflex».

					Расчетная часть	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		69

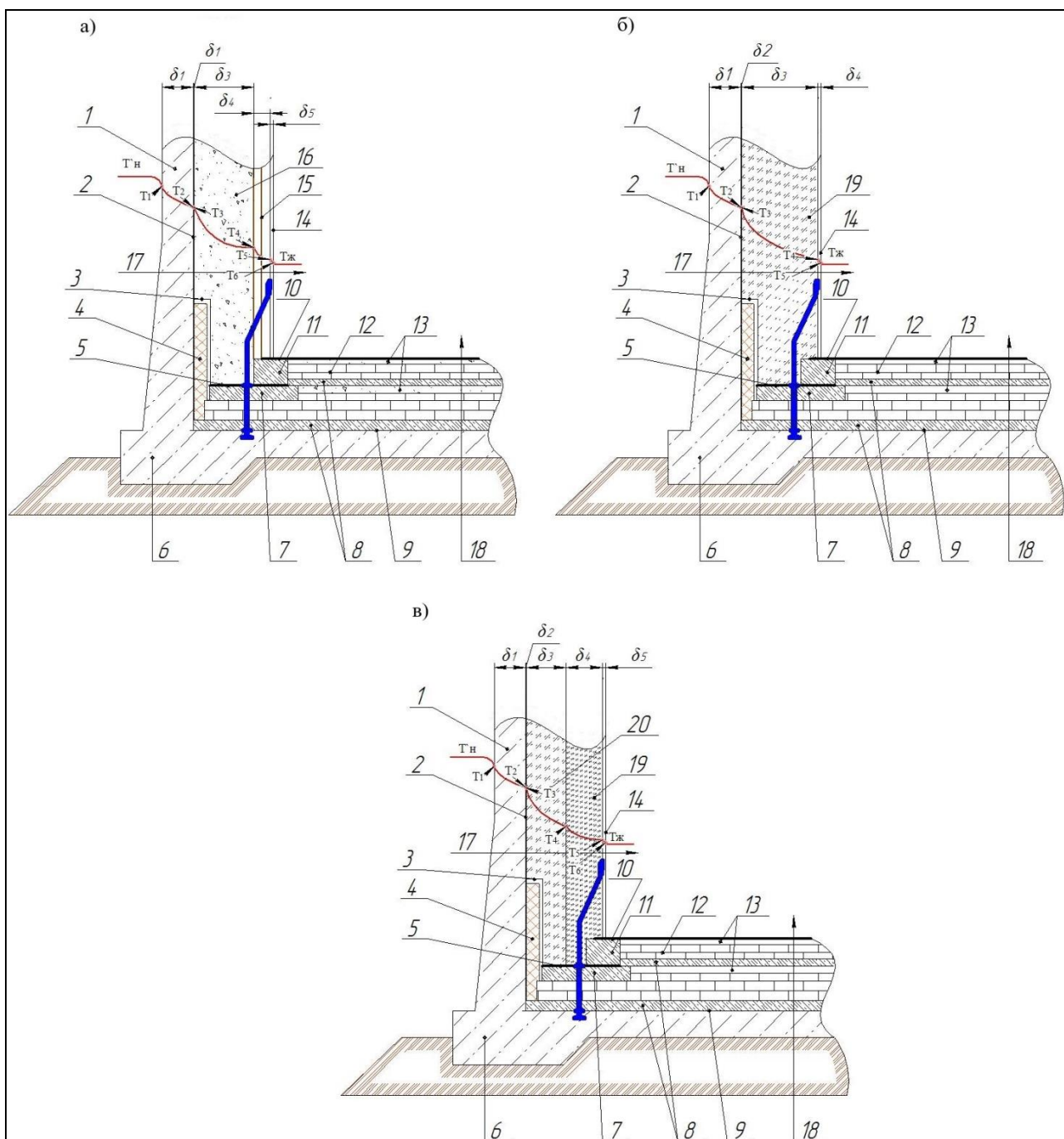


Рисунок 23– Ограждающие конструкции стенки двухоболочечного изотермического резервуара:

1 – внешняя стенка из преднапряженного железобетона; 2 – облицовка ж/б стенки (углеродистая сталь); 3 – обечайка системы тепловой защиты угловой зоны (9 % Ni); 4 – блоки из пеностекла; 5 – окрайка вторичного днища; 6 – бетонная фундаментная плита; 7 – нижнее бетонное кольцо; 8 – выравнивающий слой бетона; 9 – внешнее днище; 10 – окрайка внутреннего днища; 11 – верхнее ж/бетонное кольцо; 12 – блоки из пено-стекла; 13 – песок; 14 – внутренняя стенка (9 % Ni); 15 – упругие компенсационные маты; 16 – перлит; 17 – теплоприток к СПГ через смоченную поверхность корпуса; 18 – тепло-приток к СПГ через днище; 19 – основной слой изоляции; 20 – дополнительный слой изо-ляции

					Расчетная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		70

Таблица 20 – Элементы конструкции стенки исследуемого резервуара

		Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Внешний железобетонный резервуар		400	1,7
Облицовка из углеродистой стали на внутренней поверхности железобетонного резервуара		5	80
Слой изоляции:			
	перлит		0,0430
	пеностекло «Foamglas S3»		0,0338
	пеностекло «НЕОПОРМ® D 130»		0,0345
	вспененный синтетический каучук «Armaflex LTD»		0,028
	«AF/Armaflex»		0,03508
	«K-FLEX ST»		0,023
	«Cryogel™Z»		0,013
Слой упругих компенсационных матов из минеральной ваты (в случае засыпной изоляции)		300	0,038
Внутренний резервуара из хладостойкой стали		30	20

Из практики известно, что скорость выкипания из типичного ИР СПГ составляет около 0,05% по массе в день. Вскипание происходит в результате притока тепла в резервуар через крышу, стенки и днище.

Для оценки влияния характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь СПГ рассмотрим теплоприток только через стенки резервуара, который согласно [23] в общем тепловом балансе составляет 40-50%. Поэтому зададимся величиной испарения продукта – не более 0,025% по массе в день, и, исходя из этой величины, вычислим необходимую толщину тепловой изоляции корпуса.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Исходные данные

T_n	20	Температура наружного воздуха, °С
$T_{ж}$	- 163	Температура жидкости внутри резервуара, °С
$V_{ном}$	100000	Номинальным объемом резервуара, м ³
$D_{вн}$	60	Диаметр внутренней емкости, м
$H_{ж}$	33,85	Высота налива, м
$\rho_{жс}$	422	Плотность хранимого СПГ, кг/м ³
$\lambda_{ж}$	0,185	Коэффициент теплопроводности СПГ, Вт/(м·К)

					Расчетная часть	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

ρ	525,6	Массовая скрытая теплота парообразования, кДж/кг
τ	24	Время хранения, ч
$\nu_{ж}$	$2,787 \cdot 10^7$	Кинематическая вязкость СПГ, м ² /с
$c_{рж}$	$3,41 \cdot 10^3$	Изобарная теплоемкость СПГ, Дж/(кг·К)
$\epsilon_{жб}$	0,85	Степень черноты наружной железобетонной поверхности резервуара
v	8	Скорость ветра, м/с
$Q_{рад}$	155	внешнее радиационное излучение солнца, Вт/м ²
$T_{вых}$	-155	Температура газа на выходе из резервуара, °С
$h_{пр}$	1,5	Высота образовавшейся вследствие уплотнения воздушной прослойки, м
$\delta_{пр}$	0,1	Толщина образовавшейся вследствие уплотнения воздушной прослойки, м
λ_0	0,0138	Коэффициентом теплопроводности неподвижного воздуха прослойки, Вт/(м·К);
T	-120	средняя температура воздуха в прослойке, °С;
Δt	5	разность температур поверхностей, ограничивающих прослойку, К.
ρ_0	150	Плотность перлита соответственно до уплотнения, кг/м ³ .

Объем резервуара, заполненного СПГ:

$$V_{\text{прод}} = H_{ж} \cdot \pi \cdot \frac{D_{ж}}{4}, \text{ м}^2 \quad (15)$$

$$V_{\text{прод}} = H_{ж} \cdot \pi \cdot \frac{D_{ж}}{4} = 94294,903 \text{ м}^2$$

Масса СПГ в резервуаре:

$$M_{\text{прод}} = V_{\text{прод}} \cdot \rho, \text{ т} \quad (16)$$

$$M_{\text{прод}} = V_{\text{прод}} \cdot \rho = 3,979 \cdot 10^4 \text{ т}$$

Допустимые потери на испарение:

$$M_{\text{исп}} = \frac{M_{\text{прод}} \cdot 0,025}{100}, \text{ кг} \quad (17)$$

$$M_{\text{исп}} = M_{\text{прод}} \cdot 0,00025 = 9948,112 \text{ кг}$$

Для определения теплового притока через ограждающие конструкции стенки резервуара СПГ решается стандартная задача теплопроводности через многослойное ограждение плоской формы и, для всех рассматриваемых способов изоляции, будет иметь общий вид:

					Расчетная часть	Лист
						72
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

$$\left\{ \begin{array}{l} q_H = \alpha_H (T_H^* - T_1) \\ q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot (T_1 - T_2) \\ q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} \cdot (T_2 - T_3) \\ q = \frac{\lambda_3}{\delta_3} \cdot (T_3 - T_4) \\ q = \frac{\lambda_4}{\delta_4} \cdot (T_4 - T_5) \\ q = \frac{\lambda_5}{\delta_5} \cdot (T_5 - T_6) \\ q_{BH} = \alpha_{BH} (T_6 - T_{ж}) \end{array} \right. \quad (18)$$

Интенсивность теплового потока q будем считать постоянной ($q_H = q = q_{BH}$), в силу стационарности процесса, и определим, исходя из массы испарений согласно [21]:

$$q = \frac{M_{исп} \cdot r}{\tau \cdot F}, \text{ Вт/м}^2 \quad (19)$$

где

$$F = H_{ж} \cdot \pi \cdot D_{ж}, \text{ м}^2 \quad (20)$$

$$q = \frac{M_{исп} \cdot r}{\tau \cdot F} = 9,627 \text{ Вт/м}^2$$

$$F = H_{ж} \cdot \pi \cdot D_{ж} = 6,286 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

Фиктивная температура T_H^* вводится для того, чтобы учесть облученность внешней поверхности железобетонной стенки, контактирующей с атмосферой:

$$T_H^* = T_2 + \frac{Q_{рад} \cdot \epsilon_{жб}}{\alpha_H}, \text{ К} \quad (21)$$

$$T_H^* = T_2 + \frac{Q_{рад} \cdot \epsilon_{жб}}{\alpha_H} = 298,337 \text{ К}$$

Коэффициент α_H определяется по формуле Франка согласно [56, 126], исходя из скорости ветра v (м/с):

					Расчетная часть	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

$$\alpha_{\text{н}} = 6,31 \cdot v^{0,656} + 3,25 \cdot e^{-1,91v}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (22)$$

$$\alpha_{\text{н}} = 6,31 \cdot v^{0,656} + 3,25 \cdot e^{-1,91v} = 24,686 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Вследствие теплопритока и расширения СПГ у стенки резервуара образуется движущийся слой СПГ, который движется по замкнутому циркуляционному контуру. Для расчета коэффициента теплоотдачи на внутренней поверхности стенки корпуса $\alpha_{\text{вн}}$, с учетом скорости движения w слоя СПГ Иванцова С.Г [56] предлагает $\alpha_{\text{вн}}$ найти согласно [119]:

$$Re_{\text{ж}} = \frac{w \cdot D_{\text{ж}}}{\nu_{\text{ж}}} \quad (23)$$

$$Pr_{\text{ж}} = \frac{\eta \cdot c_{\text{рж}}}{\lambda_{\text{ж}}} \quad (24)$$

$$Nu = 0,021 \cdot \varepsilon \cdot Re_{\text{ж}}^{0,8} \cdot Pr_{\text{ж}}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{ст}}}\right)^{0,25} \quad (25)$$

$$\alpha_{\text{вн}} = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{ж}}}{H_{\text{ж}}} \quad (26)$$

Но, также в работе [56] приводится доказательство того, для инженерных расчетов допустимо не принимать во внимание конвективные процессы на внутренней поверхности стенки первичного контейнера, т.к. разница в температурах стенки и СПГ составляет не более 0,1 %.

Тогда T_6 можно приравнять к $T_{\text{ж}}$ и система (18) примет следующий вид:

$$\begin{cases} q_{\text{н}} = \alpha_{\text{н}}(T_{\text{н}}^* - T_1); \\ q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot (T_1 - T_2); \\ q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} \cdot (T_2 - T_3); \\ q = \frac{\lambda_3}{\delta_3} \cdot (T_3 - T_4); \\ q = \frac{\lambda_4}{\delta_4} \cdot (T_4 - T_5); \\ q = \frac{\lambda_5}{\delta_5} \cdot (T_5 - T_{\text{ж}}) \end{cases} \quad (27)$$

					Расчетная часть	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

В рассматриваемой системе неизвестными величинами являются температуры на границах слоев стенки и толщина изоляции.

Для разностей температур уравнений системы (27) имеем:

$$\begin{cases} T_{\text{н}}^* - T_1 = \frac{q}{\alpha_{\text{н}}} \\ T_1 - T_2 = \frac{q \cdot \delta_1}{\lambda_1} \\ T_2 - T_3 = \frac{q \cdot \delta_2}{\lambda_2} \\ T_3 - T_4 = \frac{q \cdot \delta_3}{\lambda_3} \\ T_4 - T_5 = \frac{q \cdot \delta_4}{\lambda_4} \\ T_5 - T_{\text{ж}} = \frac{q \cdot \delta_5}{\lambda_5} \end{cases} \quad (28)$$

Сложение правых и левых частей этой системы дает:

$$T_{\text{н}}^* - T_{\text{ж}} = \frac{q}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{q \cdot \delta_1}{\lambda_1} + \frac{q \cdot \delta_2}{\lambda_2} + \frac{q \cdot \delta_3}{\lambda_3} + \frac{q \cdot \delta_4}{\lambda_4} + \frac{q \cdot \delta_5}{\lambda_5} \quad (29)$$

Откуда можно выразить искомую толщину изоляции для случая 1:

$$\delta_3 = \lambda_3 \cdot \left(\frac{T_{\text{н}}^* - T_{\text{ж}}}{q} - \left(\frac{q}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right) \right) \quad (30)$$

Для случая 2:

$$\delta_3 = \lambda_3 \cdot \left(\frac{T_{\text{н}}^* - T_{\text{ж}}}{q} - \left(\frac{q}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right) \right) \quad (31)$$

Значения коэффициентов теплопроводности принимаются для средних температур слоев где возможно из расчета («AF/Armaflex», «НЕОПОРМ® D130»), где нет – из таблиц. Температуры слоев рассчитывались из системы (28) методом последовательных приближений в Mathcad.

Например, теплопроводность листов «Armaflex LTD» при температуре минус 100°С – табличное значение, а листов «AF/Armaflex» вычисляется при

					Расчетная часть	Лист
						75
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

средней температуре слоя минус 10°C, по формуле (14):

$$\lambda_3 = \frac{[36 + 0,1 \cdot T + 0,0008 \cdot T^2]}{1000} = 0,03508 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

Для пеностекла марки «НЕОПОРМ® D130» при температуре минус 50°C по формуле (13):

$$\lambda_3 = 0,0443 + 1,421 \cdot 10^{-4} \cdot t + 1,46 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 2 \cdot 10^{-10} \cdot t^3 = 0,349 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

Для случая 3 нельзя воспользоваться формулой (29) для расчета толщины изоляции, т.к. в этом случае неизвестно сразу две толщины δ_3 («AF/Armaflex») и δ_4 («Armaflex LTD»).

Пограничная температура между первым и вторым материалом составляет минус 50°C. Имея данные, T_n , $T_{ж}$, δ_1 , δ_2 , δ_5 , как в предыдущих случаях, задаем температуру $T_3 = -50^\circ\text{C}$ и используя метод последовательных приближений для системы (28) в программе Mathcad вычисляем значения δ_3 и δ_4 .

Рассчитанные толщины изоляций, необходимые для обеспечения 0,025% массовых потерь продукта приведены в таблице 22 и на рисунке 24.

Таблица 22 – Толщины изоляционных материалов, необходимые для обеспечения 0,025% массовых потерь продукта

Тип изоляционного материала	Толщина, м
Вспученный перлит с матами из минеральной ваты	0,790
НЕОПОРМ® D 130	0,675
Foamglas S3	0,652
Armaflex	0,594
K-FLEX ST	0,444
Cryogel™Z	0,251

					Расчетная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		76

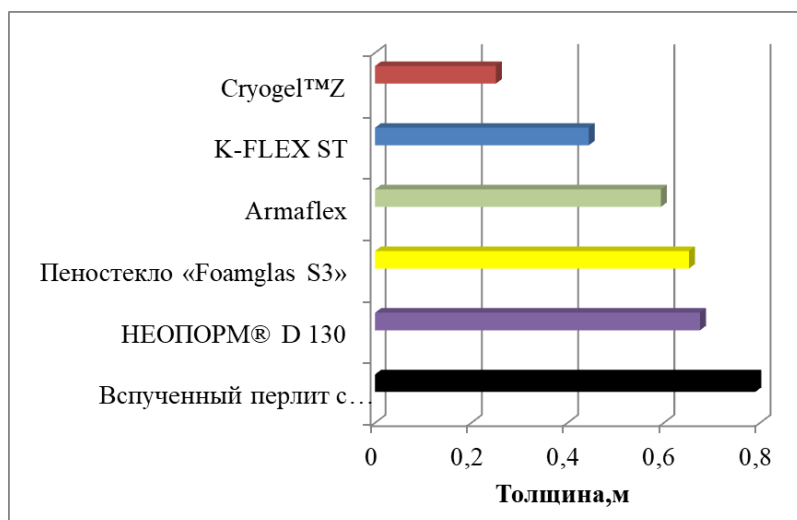


Рисунок 24 – Сравнение толщин изоляций, необходимых для обеспечения 0,025% масс. потерь продукта

Изменяя исходный процент допустимых потерь на испарение для всех видов изоляции, получим зависимость потерь на испарение в двухбололочном ИР СПГ от типа и толщины изоляции (таблица 23, рисунок 25).

Таблица 23 – Зависимость толщины изоляционного материала от допустимого процента на испарение продукта

Тип изоляционного материала	Потери продукта, %							
	0,05	0,035	0,025	0,015	0,0125	0,01	0,008	0,005
	Толщина							
Вспученный перлит с матами из минеральной ваты	0,369	0,549	0,79	1,351	1,631	2,052	2,577	4,155
Foamglas S3	0,321	0,463	0,652	1,093	1,313	1,644	2,057	3,297
НЕОПОРМ® D 130	0,333	0,479	0,675	1,131	1,359	1,702	2,129	3,413
K-FLEX ST	0,219	0,315	0,444	0,744	0,894	1,119	1,4	2,243
Cryogel™Z	0,124	0,178	0,251	0,42	0,505	0,632	0,791	1,268
Armaflex	0,292	0,421	0,594	1,036	1,196	1,499	1,868	3,007
AF/Armaflex	0,128	0,186	0,265	0,488	0,539	0,677	0,848	1,363
Armaflex LTD	0,164	0,235	0,329	0,548	0,657	0,822	1,02	1,644

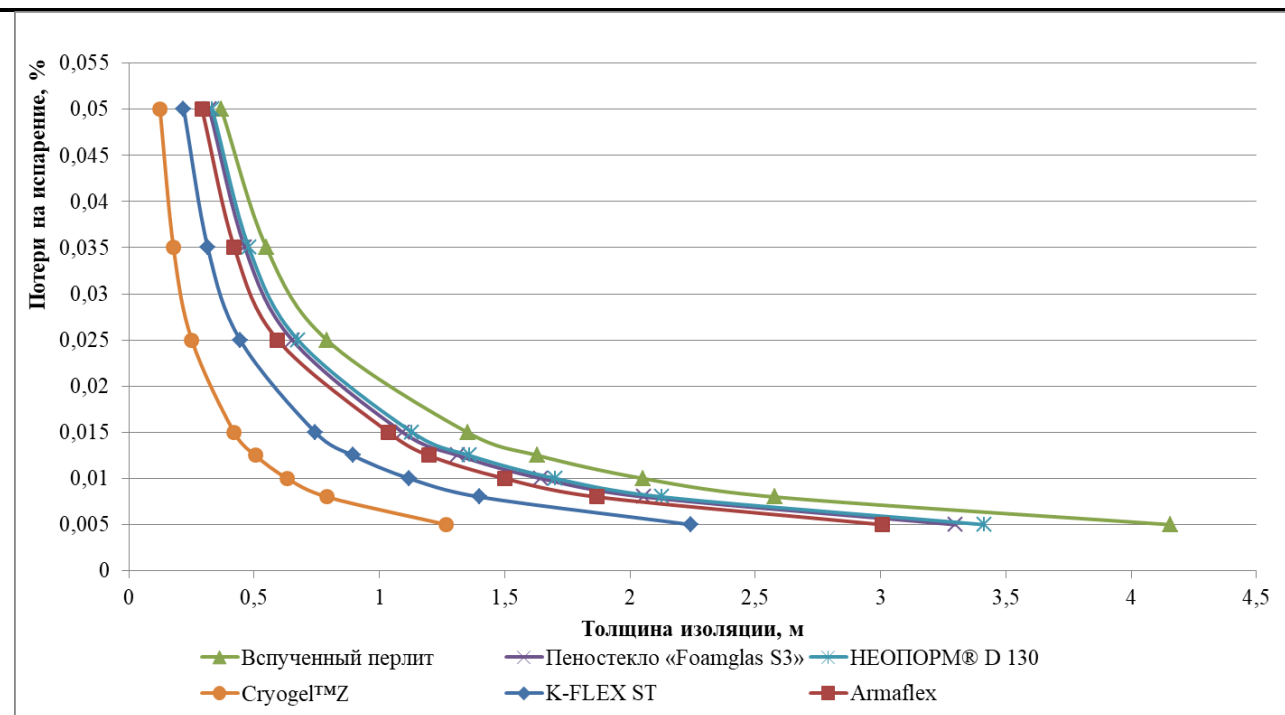


Рисунок 25 – График зависимости потерь на испарение от толщины и типа изоляции

На сегодняшний день вспученный перлит самый распространённый изоляционный материал для ИР СПГ, но как видно из рисунков 24 и 25 имеет самые низкие изоляционные свойства из рассматриваемых материалов. Пеностекло «НЕОПОРМ® D 130» также уже применяется в этой области и имеет относительно перлита более низкую теплопроводность, но на рынке уже есть другие материалы, такие как «Foamglas S3», «Armaflex», «K-FLEX ST» и «Cryogel™Z», которые могут обеспечить тот же уровень потерь при меньшей толщине и кроме того, обладают другими преимуществами, отраженными в таблице В.1 приложения В.

6.3. Влияние уплотнения тепловой изоляции изотермических резервуаров на потери на испарение продукта

Перлитовая засыпка имеет свойство уплотняться в результате термических деформаций резервуара, при этом возникает воздушное пространство между засыпкой и внутренним контейнером резервуара.

Для оценки влияния уплотнения тепловой изоляции ИР на потери на испарение продукта воспользуемся методикой предложенной Рахманиным А.И. [17,40].

Увеличение скорости испарения при нарушении тепловой изоляции резервуара определяется следующим образом:

(32)

$$\Delta m = m_1 - m_0 = \frac{q_1^{\text{упл}} \cdot (F - F_{\text{пр}}) + (q_{\text{пр}} - q_1) \cdot F_{\text{пр}}}{(r + c_{\text{пл}} \cdot (T_{\text{вых}} - T_{\text{ж}}))}, \text{ кг/с}$$

где m_0 – количество жидкости, испаряющейся в единицу времени в результате теплопритока из окружающей среды, кг/с;

m_1 – количество жидкости, испаряющейся в единицу времени в результате изменившегося теплопритока из окружающей среды, кг/с;

$q_1^{\text{упл}}$ – значение плотности теплового потока через граничащую с жидкой фазой поверхность после уплотнения, Вт/м²;

F – площадь стенки до уровня налива СПГ, м²;

$F_{\text{пр}}$ – площадь поверхности газовой прослойки, м²;

$q_{\text{пр}}$ – плотность теплового потока через газовую прослойку, Вт/м²;

q_1 – плотность теплового потока через поверхность теплообмена, граничащую с жидкой фазой, Вт/м².

Плотность теплового потока вычислим без учета конвективных процессов на внутренней поверхности стенки, вследствие их незначительности:

До усадки перлита:

$$q_1 = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{ж}}}{R_1}, \text{ Вт/м}^2 \quad (33)$$

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$$

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} = 19,567 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$$

$$q_1 = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{ж}}}{R_1} = 9,352 \text{ Вт/м}^2$$

					Расчетная часть	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		79

После усадки перлита:

$$q_{1\text{упл}} = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{ж}}}{R_1}, \text{ Вт/м}^2 \quad (34)$$

где

$$R_{1\text{упл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3\text{упл}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$$

Коэффициент теплопроводности перлита после уплотнения:

$$\lambda_{3\text{упл}} = \lambda_3 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{1}{\left(1 - \frac{h_{\text{пр}}}{H_{\text{ж}}}\right)} - 1 \right), \text{ Вт/}(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (35)$$

$$\lambda_{3\text{упл}} = \lambda_3 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{1}{\left(1 - \frac{h_{\text{пр}}}{H_{\text{ж}}}\right)} - 1 \right) = 0,044 \text{ Вт/}(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$R_{1\text{упл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3\text{упл}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} = 19,374 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$$

$$q_{1\text{упл}} = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{ж}}}{R_1} = 9,446 \text{ Вт/м}^2$$

Передачу тепла воздушными прослойками вычислим по выражению (11):

$$q_{\text{пр}} = \frac{\Delta t}{\delta_{\text{пр}}} (\lambda_0 + \lambda_k + \alpha_{\text{л}} \delta_{\text{пр}}) = 11,642 \text{ Вт/м}^2;$$

где Δt – разность температур поверхностей, ограничивающих прослойку;

$\delta_{\text{пр}}$ – толщина прослойки.

Для области естественной конвекции при $\text{Gr} \cdot \text{Pr} < 10^8$ может быть записано:

$$\frac{\lambda_0 + \lambda_k}{\lambda_0} = 1 + \frac{m \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^r}{(\text{Gr} \cdot \text{Pr}) + n} \quad (36)$$

Для вертикальной прослойки толщиной до 200 мм, безразмерные ко-

					Расчетная часть	Лист
						80
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

коэффициенты принимают следующие значения: $m = 0,0236$; $r = 1,393$;
 $n = 1,01 \cdot 10^4$.

$$Gr \cdot Pr = A \cdot p^2 \cdot \delta_{\text{пр}}^3 \cdot \Delta t \cdot \frac{\left(1 + \frac{B}{T}\right)^2}{\left(\frac{T}{100}\right)^4} = 1,304 \cdot 10^7, \quad (37)$$

где p – давление газа, кг/м^2 ;

T – средняя температура воздуха в прослойке, К ;

Δt – разность температур поверхностей, ограничивающих прослойку, К .

Коэффициенты для воздуха равны $A=38,3 \text{ (м} \cdot \text{К}^3) / \text{кг}^2$ и $B=113 \text{ К}$

Подставляем полученное значение произведения $Gr \cdot Pr$ в уравнение (33):

$$\frac{\lambda_0 + \lambda_k}{\lambda_0} = 1 + \frac{m \cdot (Gr \cdot Pr)^r}{(Gr \cdot Pr) + n} = 15,751$$

Вычисляем коэффициент передачи тепла конвекцией:

$$\lambda_k = \lambda_0 \cdot (15,751 - 1) = 0,23 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

Коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{\text{л}}$ вычислим из классических соображений теплотехники:

$$\alpha_{\text{л}} = b \cdot C' = 0,155 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (38)$$

По данным многочисленных источников при малых температурах излучающих поверхностей величина b колеблется в пределах $0,73..0,9$. Примем среднее $0,815$.

Коэффициент взаимного излучения C' для прослоек толщиной менее 200 мм составляет $0,13..0,25$. Примем среднее $0,19$.

Площадь поверхности газовой прослойки:

$$F_{\text{пр}} = h_{\text{пр}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ж}}^2 \quad (39)$$

$$F_{\text{пр}} = h_{\text{пр}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ж}} = 188,496 \text{ м}^2$$

Теперь можно вычислить потери продукта на испарение при образовании воздушной прослойки:

					Расчетная часть	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

$$\Delta m = m_1 - m_o = \frac{q_1^{\text{упл}} \cdot (F - F_{\text{пр}}) + (q_{\text{пр}} - q_1) \cdot F_{\text{пр}}}{(r + c_{pж} \cdot (T_{\text{вых}} - T_{\text{ж}}))} = 6,541 \text{ кг/ч}$$

Увеличение испарения для других значений высоты воздушной прослойки, рассчитанное по уравнениям (32-39) представлены в таблице 24 и на рисунке 26.

Таблица 24 – Зависимость увеличения испарения от высоты воздушной прослойки

Высота прослойки, м	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Отношение высоты прослойки, к высоте резервуара, %	3	4,43	5,91	7,39	8,86	10,34	11,82	13,3	14,77
Увеличение испарения, кг/ч	6,5	9,9	13,2	16,5	19,9	23,3	26,6	30,1	33,5
Увеличение испарения, кг/сутки	156	237,6	316,8	396	477,6	559,2	638,4	722,4	804
Увеличение испарения, т/месяц	4,68	7,13	9,5	11,88	14,33	16,78	19,15	21,67	24,12

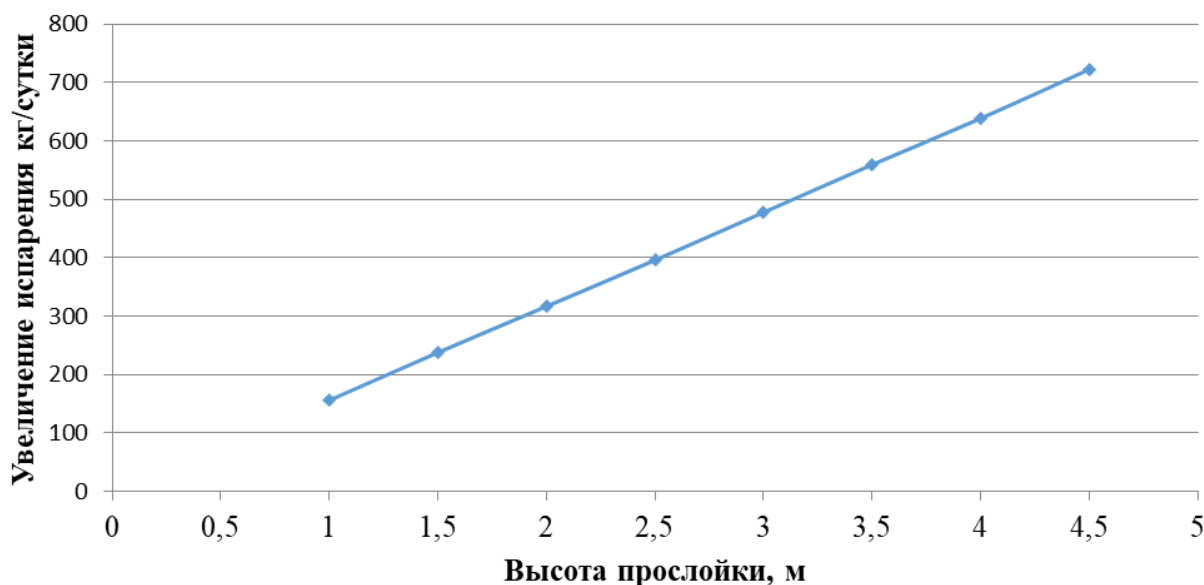


Рисунок 26 – График зависимости увеличения испарения от высоты прослойки

Как видно из представленных значений, скорость испарения СПГ при уплотнении перлита в 1% по высоте резервуара может увеличиться на 156 кг в сутки, что в месяц составит всего около 4,68 т, но при дальнейшей осадке,

хотя бы до 15% потери продукта увеличатся до 24 т в месяц, что уже приведет к ощутимым экономическим потерям. Относительное увеличение скорости испарения при разной высоте прослойки составляет 1,5-8 % от нормального (0.025% от хранящейся массы жидкости), что не может привести к аварийным ситуациям, но должно учитываться при подборе количества и производительности компрессоров, осуществляющих откачку отпарного газа на дальнейшее повторное сжижение.

					Расчетная часть	Лист
						83
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

7. Социальная ответственность

Введение

Сжиженный природный газ (СПГ) перспективный энергоноситель. В производственно-сбытовой цепи хранилище СПГ является важной составляющей. Для хранения больших объемов СПГ строятся изотермические резервуары (ИР), объем которых имеет тенденцию к увеличению с целью оптимизации затрат. Хранение больших объемов СПГ проводится при криогенных температурах в изотермических резервуарах объемом до 200 тыс. м³, поэтому соблюдение температурных параметров оказывает непосредственное влияние на промышленную безопасность. Разгерметизация резервуаров для хранения СПГ может привести к возникновению пожаров и взрывов, поэтому обеспечение безопасности на объектах его хранения является ключевой задачей.

В данной работе будут рассмотрены вопросы безопасности крупнотоннажного хранения сжиженного природного газа в ИР.

7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.1.1. Социальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно ВРД 39-1.10-064-2002 [114] и ГОСТ Р 56352-2015 [49] к обслуживанию стационарных резервуаров с СПГ допускаются лица достигшие восемнадцатилетнего возраста, прошедшие медкомиссию и не имеющие противопоказаний к этой работе, обученные по специальной программе и прошедшие инструктаж по технике безопасности и 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

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Социальная ответственность	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	84	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

места постоянного проживания работников) предусмотрена вахтовым методом. Регулирование труда лиц, работающих вахтовым методом, осуществляется согласно статье 147 ТК РФ [127].

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 [127].

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 (24 календарных дня), и в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера (16 календарных дней).

Работы, связанные с наполнением и опорожнением резервуаров, относятся к газоопасным, в соответствии с ТОИ Р-112-17-95 [128].

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 [127], 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

					Социальная ответственность	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

ми труда. Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются работодателем с учетом мнения представительного органа работников в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ [127].

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 [127].

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 [114] и [127].

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Сооружения и технологическое оборудование хранилищ СПГ должны располагаться на отдельных площадках выделенных планировочных зон, указанных в СП 240.1311500.2015 [16].

При выборе и размещении хранилищ СПГ необходимо учитывать климатические, геологические, гидрологические и сейсмические условия района их размещения. Хранилища СПГ следует располагать вне жилой, общественно-деловой и рекреационных зон населенных пунктов, с подветренной стороны для ветров преобладающего направления по отношению к жилым районам.

Минимальные расстояния от хранилищ СПГ до других производственных объектов, жилых и общественных зданий следует принимать в зависимости от типа резервуаров хранилища СПГ в соответствии с СП 240.1311500.2015 [50].

В нормальном режиме работы системы вентиляции должны обеспечивать вентиляцию на опасных участках, для предотвращения превышения предельно допустимых взрывобезопасных концентраций паров СПГ, а также

					Социальная ответственность	Лист
						86
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

поддержания избыточного давления в помещениях с нормальной средой для предотвращения поступления горючих газов с прилегающих участков. В помещениях управления и в производственных помещениях следует предусматривать сигнализацию об исправной работе вентиляционных систем.

7.2. Производственная безопасность

Рассмотрим основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при хранении СПГ в таблице 25.

Таблица 25 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при хранении СПГ

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Обслуживание изотермических резервуаров для хранения СПГ: 1.осмотр; 2.техническое обслуживание.	<i>Физические</i>		
		Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением	ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ [130]
		Пожаровзрывоопасность	СП 12.13130.2009 [131] СП 240.1311500.2015 [50]
		Пониженная температура поверхностей оборудования	
		Перемещение фаз СПГ	
	Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе		СанПиН 2.2.4.548-96 [132]
	Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны		ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [133]
	<i>Химические</i>		
	Утечки газа в атмосферу		ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [133] ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ [134]
	<i>Биологические</i>		
	Повреждения в результате контакта с животными, насекомым, пресмыкающимися		ГОСТ 12.1.008-76 ССБТ [135]

					Социальная ответственность	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		87

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

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

Изотермический резервуар для хранения СПГ должен быть оснащён многоступенчатой системой защиты от повышения давления [113]:

- отвод паров СПГ на компримирование;
- сброс паров СПГ в факельную систему отпарного газа (низкого давления);
- сброс паров СПГ через предохранительные клапаны на свечи рассеивания в атмосферу.

Требования к поддержанию и регулированию давления в межстенном пространстве резервуара для хранения СПГ устанавливает ГОСТ Р 56352-2015 [49].

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

					Социальная ответственность	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

установок по взрывопожарной и пожарной опасности следует осуществлять в соответствии с требованиями СП 12.13130.2009 [131].

Теплоизоляционные конструкции должны отвечать требованиям подраздела 6.5 СП 4.13130.2013 [136]. Указанные теплоизоляционные конструкции должны относиться к группе "не распространяющие пламя" по ГОСТ Р 53327-2009 [137].

На объектах СПГ необходимо применять следующие особые меры.

Соблюдать правила безопасности при наливе 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

					Социальная ответственность	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

соответствующей защитой от случайного контакта 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).

Перемещение фаз СПГ

Одной из серьезных проблем, которая может повлиять на повышение давления в резервуаре, является проблема стратификации СПГ, возникающая, как правило, при длительном хранении СПГ в хранилище без перемешивания либо при закачке в резервуар СПГ с характеристиками (компонентный состав, плотность, температура и др.), отличными от характеристик уже имеющейся в нем жидкости. Данное явление получила за рубежом название «ролловер», – перевёртывание.

Предотвратить ролловер можно при тщательном контроле скорости образования отпарного газа. СПГ разных изготовителей, имеющий разный состав, следует хранить в отдельных резервуарах. Плотность СПГ в резервуаре также необходимо постоянно контролировать.

Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе

В России преимущественно заводы и хранилища для СПГ устанавливают в северных районах. Нормирование параметров климата на открытых площадках не производится, но определяются конкретные мероприятия по снижению неблагоприятного воздействия их на организм рабочего. Работавшие 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

					Социальная ответственность	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

оказанию доврачебной помощи.

Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны

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 [134] ПГ - вещество 4 класса опасности, ПДК - 300 мг/м³ в пересчете на углерод по ГОСТ 12.1.005 [133], 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

					Социальная ответственность	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

В летнее время года работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены за счет предприятия средствами индивидуальной защиты от гну-са и энцефалитного клеща (крема, аэрозоли, москитная сетка) [135]. В неко-торых 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 влияния объекта исследования на окружаю-щую среду

С экологической точки зрения природный газ имеет безусловные пре-имущества перед другими ископаемыми видами топлива, поскольку при его сжигании в атмосферу выбрасывается значительно меньше CO_2 , SO_x , NO_x и твердых частиц. Поскольку СПГ состоит в основном из метана, то актуаль-ным является вопрос о последствиях выбросов в атмосферу парниковых га-зов и влиянии производства и транспортировки СПГ на глобальное измене-ние климата [138].

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, за-грязнение почвы и водных объектов возможными утечками горюче-смазочных материалов и перевозимых химикатов.

В результате происходит трансформация природных экосистем и утра-та 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 распы-

					Социальная ответственность	Лист
						92
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

ляться 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 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.

					Социальная ответственность	Лист
						93
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Защита атмосферы

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

Анализ реальных аварий на хранилищах СПГ выявил следующие ос-

					Социальная ответственность	Лист
						94
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

новные опасности и возможные сценарии аварий [140]:

- образование пролива;
- пожар пролива;
- выброс паров СПГ без последующего воспламенения;
- выброс паров СПГ с последующим воспламенением;
- взрыв паров СПГ в ограниченном пространстве.

Исходя из особенностей конструкции резервуара, все опасности делят на опасности, связанные с воздействием на внешний и внутренний корпус.

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 в резервуарном парке).

Рассматривая внутренние воздействия, способные повлиять на прочностные характеристики внешнего бетонного корпуса, следует отметить только термическое. Оно связано с длительным контактом внешнего корпуса с криогенной температурой в случае разгерметизации внутреннего корпуса.

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 [139].

					Социальная ответственность	Лист
						95
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

В состав систем обеспечения безопасности хранилища СПГ входят системы предотвращения уменьшения и увеличения давления во внутреннем резервуаре, система предотвращения возникновения и развития ролловера, система предотвращения перелива и система орошения резервуара.

Следует осуществлять контроль за герметичностью технологического оборудования, трубопроводов, арматуры, где возможны утечки взрывопожароопасных паров и газов. Контроль за загазованностью 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, опасные и вредные производственные факторы с обоснованием мероприятий по снижению уровня их воздействия. Также были рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях с обоснованием мероприятий по защите окружающей среды и предотвращению ЧС на объектах хранения СПГ.

					Социальная ответственность	Лист
						96
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	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.

Для данной работы целью является оценка и влияние типа изоляционного материала на тепловые потери.

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

8.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Исследуемые изоляционные материалы предназначены для теплоизоляции изотермических резервуаров на заводах по сжижению природного га-

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	97	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

за. Сравнение теплоизоляционных материалов, является немаловажной частью, т.к. их правильный выбор будет способствовать сохранению бюджета компании, сил и средств, а также избавит атмосферу от негативных воздействий.

Сегментировать рынок можно по категориям резервуаров и типам изоляционных материалов (таблица 26).

Таблица 26 – Карта сегментирования рынка

		Тип изоляционных материалов		
		Перлит	Пеностекло	Пенополиуретан
Категории резервуаров	Цилиндрические двухоболочечные			
	Цилиндрические мембранные			

 - «Ямал СПГ (РФ)»  - «Gorgon LNG Plant (Австралия)»

На сегодняшний день в мире существуют много проектов по сжижению природного газа и соответственно каждый проект обладает своей уникальностью по наличию типа изоляции и категории резервуаров. По карте сегментирования видно, что проект «Ямал СПГ» не использует резервуары мембранной категории, но зато преимущественно использует технологии по изоляции цилиндрических двухоболочечных резервуаров с помощью таких материалов как перлит и пеностекло, которые обладают своими особыми преимуществами.

8.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Проанализируем три типа изоляционных материалов: перлит, пеностекло, пенополиуретан.

Оценочная карта, в которой отображены результаты анализа, представлена в виде таблицы 27.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показате-

лю экспертным путем по пятибалльной шкале. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i B_i, \quad (40)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 27 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_n	B_{n1}	B_{n2}	K_n	K_{n1}	K_{n2}
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	3,65	4,55	4,24

* B_n – пенополиуретан

B_{n1} – пеностекло

B_{n2} – перлит

По таблице 27 видно, что наиболее эффективным материалом является пеностекло. 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

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 28.

Таблица 28 – 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
--	---	---

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		100

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. Импортозамещение и возможность создавать конкурентоспособные материалы на рынке	1. Оптимизация технологии изготовления материалов 2. Отбор высококвалифицированных специалистов 3. Сотрудничество с иностранными компаниями
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 29.

Таблица 29 – 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	Дипломник
	3	Определение возможностей и оценка имеющихся ресурсов	Руководитель
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, дипломник
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, дипломник

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Дипломник
	7	Компьютерное моделирование	Дипломник
	8	Сопоставление результатов моделирования с теоретическими исследованиями	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Дипломник
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработана методика расчета толщины изоляционного материала, обеспечивающей заданный уровень потерь на испарение	Дипломник
	12	Расчет конструкции теплоизоляции	Дипломник
	13	Оценка эффективности применения изоляционного материала	Дипломник
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	14	Подготовка ВКР	Дипломник

8.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (41)$$

где $t_{ож\ i}$ – 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:

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		102

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (42)$$

где T_{pi} – 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 30.

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 формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (43)$$

где 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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (44)$$

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

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

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

Все рассчитанные значения приведены в таблице 30.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		103

Таблица 30 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполни тели	T _{pi} , раб. дн.	T _{ki} , кал. дн					
	t _{min} , чел- дни			t _{max} , чел-дни			t _{ожі} , чел-дни					1	2	3	1	2	3
	1	2	3	1	2	3	1	2	3								
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Руководи тель	1	1	1	1	1	1	
Подбор и изучение материа- лов по теме	12	13	14	20	21	22	15	16	17	Диплом- ник	15	16	17	22	24	25	
Определение возможностей и оценка имеющихся ресур- сов	1	1	1	1	2	1	1	1	1	Руководи- тель, диплом- ник	1	1	1	1	2	1	
Выбор направления исследований	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Руководи- тель	1	1	1	1	1	1	
Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	1	1	1	1	1	Руководи- тель, диплом- ник	1	1	1	2	1	1	
Проведение теоретических расчетов и обоснований	6	4	7	12	7	15	8	5	10	Диплом- ник	8	5	10	12	8	15	
Компьютерное моделирование	4	6	5	9	10	9	6	8	7	Диплом- ник	6	8	7	9	11	10	
Сопоставление результатов моделирования с теоретиче- скими исследованиями	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Диплом- ник	1	1	1	1	1	1	
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	1	3	5	2	2	4	1	Руководи- тель, диплом- ник	2	4	1	4	6	2	
Определение целесообразности проведения ОКР	2	3	3	3	6	5	2	4	4	Руководи- тель, диплом- ник	2	4	4	4	6	6	
Сравнение изоляционных материалов	11	12	10	13	15	12	12	13	11	Диплом- ник	17	20	16	17	20	16	
Выбор и расчет теплоизоляции	12	14	13	17	20	19	14	16	15	Диплом- ник	21	24	23	21	24	23	
Оценка эффективности рассчитываемого материала	1	1	1	1	2	1	1	1	1	Диплом- ник	1	2	1	1	2	1	
Подготовка ВКР	26	24	25	34	30	32	29	26	28	Диплом- ник	43	39	41	43	39	41	

Основываясь на полученной таблице, строим календарный план-график для первого варианта исполнения (таблица 31).

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ре- сурсосбережение	Лист
						104
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Таблица 31 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Содержание работ	Исполни- тели	T _{к i}														
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	22														
3	Определение возможностей и оценка имеющихся ресурсов	Руководитель, дипломник	1														
4	Выбор направления исследований	Руководитель	1														
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, дипломник	2														
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Дипломник	12														
7	Компьютерное моделирование	Дипломник	9														
8	Сопоставление результатов моделирования с теоретическими исследованиями	Дипломник	1														
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, дипломник	4														
10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, дипломник	4														
11	Сравнение изоляционных материалов	Дипломник	17														
12	Выбор и расчет теплоизоляции	Дипломник	21														
13	Оценка эффективности рассчитываемого материала	Дипломник	1														
14	Подготовка ВКР	Дипломник	43														

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		105

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 НТИ

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

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i N_{\text{расх } i} = 37000 \cdot 1 + 1500 \cdot 1 = 38500 \text{ руб.} \quad (45)$$

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

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты пришлись на компьютер и программное обеспечение. Установка специальных программ для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.

Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудо-

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		106

емкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 32.

Таблица 32 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Зарплата, приходящаяся на один чел.- раб.дн., руб.			Всего зарплата по тарифу (окладам), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Руководитель	14	18	14	1450	1450	1450	20300	26100	20300
2	Дипломник	139	145	144	559,3	559,3	559,3	77743	81099	80539
Итого								98043	107199	100839

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (46)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – 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: $Z_{\text{осн}} = 1450,1 \cdot 14 = 20301,4$ руб.

Для дипломника: $Z_{\text{осн}} = 559,3 \cdot 139 = 77742,7$ руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M \cdot k_p}{F_d} \quad (47)$$

где 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.

Для руководителя: $Z_{\text{дн}} = \frac{24600 \cdot 11,2 \cdot 1,3}{247} = 1450,1$ руб.

Для дипломника: $Z_{\text{дн}} = \frac{9489 \cdot 11,2 \cdot 1,3}{247} = 559,3$ руб.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		107

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} \quad (48)$$

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

Для руководителя: $З_{\text{доп}} = 20300 \cdot 0,13 = 2639$ руб.

Для дипломника: $З_{\text{доп}} = 77743 \cdot 0,13 = 10107$ руб.

Расчет для каждого варианта исполнения представлен в таблице 33.

Таблица 33 – Расчет дополнительной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Дополнительная заработная плата, руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Руководитель	2639	3393	2639
2	Дипломник	10107	10543	10470
Итого		12746	13936	13109

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (49)$$

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

Таблица 34 – 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	20300	26100	20300	2639	3393	2639
Дипломник	77743	81099	80539	10107	10543	10470
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1 %					
Итого:	30024	32828	30880			

Накладные расходы

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		108

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

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{м}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}})k_{\text{нр}} \quad (50)$$

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

$$З_{\text{накл1}} = (38500 + 98044 + 12746 + 30024) \cdot 0,16 = 28690 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{накл1}} = (38500 + 107199 + 13936 + 32828) \cdot 0,16 = 30794 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{накл1}} = (38500 + 100839 + 13109 + 30880) \cdot 0,16 = 29332 \text{ руб.}$$

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 35.

Таблица 35 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	38500	38500	38500
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	98043	107199	100839
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12746	13936	13109
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30024	32828	30880
5. Накладные расходы	28690	30794	29332
6. Бюджет затрат НТИ	208003	223257	212660

Таким образом, общий бюджет затрат НТИ составил 208003 руб.

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

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

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		109

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (51)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{208003 \text{ руб.}}{223257 \text{ руб.}} = 0,93,$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (52)$$

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

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

b_i – балльная оценка i-го варианта реализации научного исследования.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 36.

Таблица 36 – 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 потребителей)	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
Итого	1	23	21	21

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

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		110

$$I_{p-\text{исп.1}} = 4,65; I_{p-\text{исп.2}} = 4,2; I_{p-\text{исп.3}} = 4,15.$$

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

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{p-\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.1}}^{\text{финр}}}; \quad (53)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего материала и аналогов позволит определить сравнительную эффективность (таблица 37).

Сравнительная эффективность:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}}. \quad (54)$$

Таблица 37 – 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	1,04

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 материалами. Согласно проведенным исследованиям, бюджет включает в себя учет всех ранее рассчитанных необходимых затрат, для проведения научных исследований. Согласно данным из таблицы 10 бюджетный фонд, сформированный для проведения научно-исследовательской работы, составил 208003 руб.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		111

Заключение

В результате выпускной квалификационной работы:

1. Выполнен анализ нормативно-технической базы, в области проектирования, сооружения и эксплуатации резервуаров СПГ и отмечена неполнота отечественной нормативной базы, затрагивающей вопросы проектирования тепловой изоляции крупных изотермических хранилищ.

2. На основе аналитического обзора современных методик расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ, предложена методика расчета толщины изоляционного материала, для обеспечения заданного уровня потерь на испарение.

3. Для двухболочного ИР номинальным объемом 100000 м³ рассчитаны минимальные толщины изоляции различных материалов для обеспечения 0,025% масс. потерь в сутки:

Толщина изоляции из вспученного перлита с матами из минеральной ваты: 0,790 м;

- толщина изоляции из пеностекла «НЕОПОМ® D 130»: 0,675 м;
- толщина изоляции из пеностекла «Foamglas S3»: 0,652 м;
- толщина изоляции из вспененного каучука «Armaflex»: 0,594 м;
- толщина изоляции из вспененного каучука «K-FLEX ST»: 0,444 м;
- толщина изоляции из «Cryogel™Z»: 0,251 м.

4. Исходя из полученных значений толщин и сравнения иных свойств изоляций, предлагается использовать для изоляции ИР СПГ такие материалы, как: «Foamglas S3», «Armaflex», «K-FLEX ST» и «Cryogel™Z».

5. Рассчитано увеличение потерь продукта на испарение при уплотнении тепловой изоляции, выполненной из перлита. При образовании воз-

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата				
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Заключение	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19		ДР	112	135
Консульт.						ТПУ гр. 2Б5Б		
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19				

душной прослойки высотой от 1 до 15 м увеличение потерь продукта составило 1,5-8% от допустимого, что приводит к дополнительным экономическим потерям.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						113
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Список использованных источников

1. Прогноз НТР отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года /Министерство энергетики РФ
2. Итоги работы Минэнерго России и основные результаты функционирования ТЭК в 2012–2017 гг. /Министерство энергетики РФ
3. ГОСТ Р 57431-2017. (ИСО 16903:2015) Газ природный сжиженный. Общие характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200144948> (дата обращения 20.12.2018 г.).
4. 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. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/66172/> (дата обращения 20.12.2018 г.).
5. 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. Часть 2. Металлоконструкции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/556380804> (дата обращения 20.12.2018 г.).
6. 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. Часть 4. Изоляционные компоненты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/66204/> (дата обра-

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сжиженного природного газа при хранении		
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата			
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19	Список использованных источников		
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19			
Консульт.							
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19			
						Литера	Лист
						ДР	114
							Листов
							135
						ТПУ гр. 2Б5Б	

щения 20.12.2018 г.).

7. Перспективы производства СПГ/ФГБУ «ЦДУ ТЭК». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2018/1/457/ (дата обращения 22.12.2018 г.).
8. Нефтегазовы сектор: итоги 2017 и текущая конъюктура/Национальное рейтинговое агенство. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ra-national.ru/sites/default/files/analitic_article.pdf (дата обращения 22.12.2018 г.).
9. Перспективы глобального рынка СПГ/Взгляд «Шелл» на развитие рынков СПГ 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://reencon.hse.ru/data/2018/06/10/.pdf> (дата обращения 22.12.2018 г.).
10. Техничко-экономическая оценка проектов производства потребления сжиженного природного газа <http://www.vestigaz.ru/sites/default/files/attachments/vgn-2-34-2018-225-233.pdf> (дата обращения 22.12.2018 г.).
11. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы / Б.С. Рачевский. – М.: «НЕФТЬ и ГАЗ», 2009. – 640 с.
12. Б.С. Рачевский. Техничко-экономическая оценка проектов производства потребления сжиженного природного газа//Вестник газовой науки № 2 (34) / 2018
13. ВНТП 51-1-88. Ведомственные нормы на проектирование установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических хранилищ и газозаправочных станций / Мингазпром СССР. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1601> (дата обращения 24.12.2018 г.).
14. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах / актуализ. ред. СНиП II-7-81*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084534> (дата обращения 24.12.2018 г.).

					Список использованных источников	Лист
						115
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

15. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия / актуализ. редакция СНиП 2.01.07-85*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456044318> (дата обращения 24.12.2018 г.).
16. СП 240.1311500.2015. Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности / МЧС РФ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200123953> (дата обращения 24.12.2018 г.).
17. Рахманин А.И. Обеспечение безопасности резервуаров для хранения сжиженного природного газа с учетом негативных эксплуатационных факторов: дис. ... канд. тех. наук / А.И. Рахманин. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. – 137 с.
18. Котляревский В.А. Безопасность резервуаров и трубопроводов / В.А. Котляревский, А.А. Шаталов, Х.М. Ханухов. – М.: Экономика и информатика, 2000. – 552 с.
19. Ханухов Х.М. Конструкционные мероприятия по повышению безопасности и снижению риска эксплуатации изотермических резервуаров для хранения жидкого аммиака / Х.М. Ханухов, А.В. Алипов, Н.В. Четвертухин и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 8. – С. 74–80.
20. Ханухов Х.М., Алипов А.В. Нормативно-техническое и организационное обеспечение безопасной эксплуатации резервуарных конструкций. Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сборник научных трудов, выпуск 10, Москва, 2011 г. – стр. 384-422.
21. 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.
22. Дешевых Ю.И. Пожарная безопасность объектов изотермического хранения сжиженного природного газа. Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03.

					Список использованных источников	Лист
						116
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

М.: РГБ, 2001. - 206 с.

23. Шойхет Б.М. Засыпная тепловая изоляция двухстенных изотермических резервуаров для хранения сжиженных газов: дис. канд. тех. наук / Б.М. Шойхет. – М.:Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт Теплопроект, 1964. – 193 с.
24. EN 1473(2007). Installation and equipment for liquefied natural gas – Design of onshore installations
25. 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
26. US DOT Title 49. Pt. 193. Liquefied natural gas facilities: Federal Safety Standards.
27. NFPA 59A (2009). Standard for the production, storage, and handling of Liquefied *Natural Gas (LNG)*
28. API 620. Design and Construction of Large Welded Low Pressure Storage Tanks
29. API 625. Tank systems for refrigerated, liquefied gas storage
30. Annual report 2018/ The LNG industry GIIGNL. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/About_LNG/5_LNG_Markets_And_Trade/giignl_2018_annual_report.pdf (дата обращения 22.12.2018 г.).
31. Сжиженный природный газ в мире и России: текущее состояние и перспективы развития/ Vostockcapital [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vostockcapital.com/spg/szhizhennyiy-prirodnyiy-gaz-v-mire-rossii-tekushhee-sostoyanie-perspektivy-razvitiya/> (дата обращения 22.12.2018 г.).
32. Сжиженный природный газ (СПГ)/ Технологии сжижения/ Neftegaz.ru

					Список использованных источников	Лист
						117
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

[Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://neftegaz.ru/tech_library/view/4056-Szhizhennyj-prirodnyj-gaz-SPG-tehnologii-szhizheniya (дата обращения 22.12.2018 г.).

33. ТУ 51 03-03–85. Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://matcap.pf/download/gbo/tu_51-03-03-85.pdf (дата обращения: 18.04.2018).

34. Каталог продукции / Криогенмаш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--80aajzhcnfck0a.xn--p1ai/PublicDocuments/0900140.pdf> (дата обращения 20.04.2019 г.).

35. Стационарные криогенные резервуары / GT7». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gt7.ru/catalog-stat/azs_spg_gns/statsionarnye_kriogennye_rezervuary/ (дата обращения 20.04.2019 г.).

36. Стандартные криогенные резервуары для СПГ / GasEquip [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://gasequip.ru/market/kreo/117/> (дата обращения 20.04.2019 г.).

37. Криогенные жидкости и оборудование / GGC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ggco.org/equipments/cryotanks.html> (дата обращения 20.04.2019 г.).

38. LNG cryogenic tank /Henan Jian Shen [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.jianshenjs.com/product/34.html> (дата обращения 20.04.2019 г.).

39. Cryogenic storage tanks for lng / Liming Gas Group[Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.liming-gas.com/c/cryogenic_storage_tanks_for_lng.html (дата обращения 20.04.2019 г.).

40. А.И. Рахманин, С.Г. Иванцова Исследование теплового режима двустенных изотермических резервуаров с нарушенной тепловой изоляцией// Трубопроводный транспорт: теория и практика/ №2 (30) 2012.

41. Ханухов Х.М. Вопросы импортозамещения в изотермическом резервуаростроении и проблемы безопасности хранения сжиженных газов// Деловая слава России. 2015. №52.

42. Каганер М.Г. Тепловая изоляция в технике низких температур. Изд. «Машиностроение», М., 1966 г. - 270 с.

43. Баранов А.Ю., Березин Н.А., Андреев А.М., Тихонов К.А., Хитров Н.А. Хранилища - накопители заводов сжиженного природного газа // Холо-

					Список использованных источников	Лист
						118
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- дильная техника и кондиционирование. 2016. №3.
44. Сафонов В.С. О необходимости проведения анализа рисков при обосновании типа и конструктивных характеристик изотермических хранилищ для комплексов СПГ различного назначения // Вести газовой науки. 2017. №1 (29).
 45. С. Г. Иванцова Анализ технических решений при изготовлении и строительстве мембранных изотермических резервуаров сжиженного природного газа // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2018. №2.
 46. Ханухов Х.М. Перспективы развития отечественного изотермического резервуаростроения // Вести газовой науки. 2017. №1 (29).
 47. Казаков А. М., Кириллов Н. Г. Патентные исследования в области стационарного хранения сжиженного природного газа // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы V Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2017 г.). — СПб.: Свое издательство, 2017. — С. 45-49.
 48. 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.
 49. ГОСТ Р 56352-2015 Нефтяная и газовая промышленность. Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа. Общие требования безопасности (с Поправкой). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200119073> (дата обращения 21.04.2019 г.).
 50. СП 240.1311500.2015 Свод правил «Хранилища сжиженного природного газа». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200123953> (дата обращения 21.04.2019 г.).
 51. ГОСТ Р 55892-2013 Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Общие технические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200107788> (дата обращения 21.04.2019 г.).
 52. СП 326.1311500.2017 «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/557049302> (дата обращения 21.04.2019 г.).
 53. СП-41-103-2000 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200007844> (дата обращения 21.04.2019 г.).
 54. СП-61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. [Электронный ресурс].

					Список использованных источников	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		119

- Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200091050> (дата обращения 21.04.2019 г.).
55. Вакуненко В.А. К вопросу разработки методики расчета теплоизоляции криогенных хранилищ сжиженного природного газа в специальных фортификационных сооружениях министерства обороны Российской Федерации//Научный вестник ВВНМО. 2016. № 4 (40).
 56. С.Г. Иванцова А.И. Рахманин Методика инженерного расчета теплопритока через поверхность корпуса изотермического резервуара для сжиженного природного газа// труды РГУ нефти и газа (ниу) имени И.М. Губкина. № 4 (293) 2018
 57. ГОСТ Р 56851-2016 Газ природный сжиженный. Метод расчета термодинамических свойств. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200130097> (дата обращения 22.04.2019 г.).
 58. ТУ 51-03-03–85 Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://xn--80aa8asdf.xn--p1ai/download/gbo/tu_51-03-03-85.pdf (дата обращения 22.04.2019 г.).
 59. ГОСТ Р 56021-2014 Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок. Технические условия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200110779> (дата обращения 22.04.2019 г.).
 60. ГОСТ 5542–87 Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-5542-87> (дата обращения 22.04.2019 г.).
 61. Хранение и перевозка СПГ/Фасхиммаш. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.fas-him.ru/otraslevye_i_tekhnicheskie_resheniya/inzhenernye_resheniya_spg/hranenie_i_perevozka_spg/ (дата обращения 23.04.2019 г.).
 62. Среднетоннажный СПГ в России: между небом и землей/ Московская школа управления СКОЛКОВО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOV_O_EneC_RU_MediumDutyLNG_01122018.pdf (дата обращения 23.04.2019 г.).
 63. ГОСТ Р 56835-2015 Газ природный сжиженный. Газ отпарной производства газа природного сжиженного. Определение компонентного состава методом газовой хроматографии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200129493> (дата обращения

					Список использованных источников	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		120

21.04.2019 г.).

64. Сафонов В.С. Анализ особенностей растекания и испарения СПГ на водной поверхности при аварийных нарушениях герметичности грузовых емкостей танкеров // Вести газовой науки. 2018. №2 (34). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-osobennostey-rastekaniya-i-isparenitya-spg-na-vodnoy-poverhnosti-pri-avariynyh-narusheniyah-germetichnosti-gruzovyh-emkostey> (дата обращения: 02.05.2019).
65. The membrane Full Integrity System for LNG Land Storage Tanks// GTT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-applications/land-storage> (дата обращения: 04.05.2019).
66. Full Integrity Membrane concept//Membrane cryostats for large volume neutrino detectors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://indico.fnal.gov/event/11384/session/60/contribution/56/material/paper/0.pdf> (дата обращения: 04.05.2019).
67. GST, a new generation of LNG membrane-type land storage tank [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gtt.fr/sites/gtt/files/2010_lng16-gst-new-generation-lng-membrane-type-storage-tank-2012-04-11.pdf (дата обращения: 04.05.2019).
68. Наземные хранилища СПГ//Студопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/5_76235_nazemnie-hranilishcha-spg.html (дата обращения: 06.05.2019).
69. In-Ground LNG Storage Tanks// Tokyo Gas [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.netdecheck.com/en/lngtech/ug-tank/index.html> (дата обращения: 06.05.2019).
70. Сварочные материалы компании Kobelco, предназначенные для резервуаров для хранения сжиженного природного газа (СПГ), выполненных из 9%-ной никелевой стали // Kobelco. Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kobelco-welding.jp/russian/education-center/technical-highlight/vol02.html> (дата обращения: 07.05.2019).
71. Аналогии //Марочник стали и сплавов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.splav-kharkov.com/z_mat_type.php (дата обращения: 07.05.2019).
72. Сталь X7Ni9 - 1.5663// Европейская металлургическая компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://emk24.ru/wiki/vidy_stalei/x7ni9_1_5663_2224162/ (дата обращения: 08.05.2019).
73. Новые материалы и энергоэффективные технологии //Донские техноло-

					Список использованных источников	Лист
						121
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- гии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://don-tech.ru/> (дата обращения: 09.05.2019).
74. Баранов А.Ю., Соколова Е.В. Хранение и транспортировка криогенных жидкостей. Часть 1: Учебное пособие.– СПб: Университет ИТМО, 2017. – 95 с.
75. Поповский Б.В. Строительство изотермических резервуаров – М.: Недра, 1988. — 120 с.
76. Виды минеральной ваты и их различие//Srбу. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/1582-kakaya-luchshe-mineralnaya-vata-ili-bazaltovaya-vata.html> (дата обращения: 10.05.2019).
77. Главные Отличия Стекловаты и Каменной ваты//Мир теплоизоляции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kupi-uteplitel.ru/pochemu-steklovata-ustupila-palmu-pervenstva/> (дата обращения: 10.05.2019).
78. Теплопроводность минеральной ваты Isover, Ursa, Knauf, Rockwool//Книга строителя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knigastroitelya.ru/uteplenie-doma/uteplenie-mineralnoj-vatoj/teploprovodnost-mineralnoj-vaty-isover-ursa-knauf-rockwool.htm> (дата обращения: 10.05.2019).
79. Выбор между стекловатой и минватой// Uteplimvse. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://uteplimvse.ru/vidy/vata/steklovata-i-minvata.html#%D1%81_menu (дата обращения: 10.05.2019).
80. Изоляция минеральной ватой //ЭнергоТеплоСистемы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://euroisol.ru/izolyaciya-mineralnoj-vatoj> (дата обращения: 10.05.2019).
81. Доказано экспертами: каменная вата - влагостойкий материал//Технониколь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teplo.tn.ru/news/dokazano-ekspertami-kamennaya-vata-vlagostoykiy-material/> (дата обращения: 10.05.2019).
82. РОСИЗОЛ: «Минеральная вата влагостойка»// Ursa [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ursa.ru/news/rosizol_mineralnaya_vata_vlagostoyka/ (дата обращения: 10.05.2019).
83. Вспученный перлит. Сырье, получение, свойства, применение//Студент-строитель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://student-stroitel.ru/vspuchennyj-perlit/> (дата обращения: 10.05.2019).
84. Вспученный перлит и изделия из него// MSD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msd.com.ua/texnologiya-teploizolyacii/vspuchennyj-perlit-i-izdeliya-iz-nego/> (дата обращения: 10.05.2019).
85. Пенополистирол: вспененный и экструдированный//ВираАртстрой

					Список использованных источников	Лист
						122
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ereмонт.ru/enc/materials/teploisolation/penopolistirol_vspenenny_i_ekstrudirovanny.html (дата обращения: 10.05.2019).
86. Экструдированный пенополисерол [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://contrivedcheryleg.blogspot.com/2013/03/35.html> (дата обращения: 10.05.2019).
87. Сравнение утеплителей. Таблица теплопроводности// Протеплоизоляцию.рф [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://протеплоизоляцию.рф> (дата обращения: 10.05.2019).
88. Пенополистирол - характеристики и критерии выбора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/73-penopolistirol-kharakteristiki-uteplitelya.html> (дата обращения: 10.05.2019).
89. Утеплитель из пеностекла Foamglas®//ОПИ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://o-p-i.ru/katalog-produktsii/penosteklo/o-materiale.html> (дата обращения: 10.05.2019).
90. Пеностекло// strport. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://strport.ru/izolyatsionnye-materialy/utepliteli/uteplenie-penosteklom-poshagovaya-instruktsiya> (дата обращения: 11.05.2019).
91. Таблица теплопроводности и других качеств материалов для утепления//Kotel.guru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kotel.guru/uteplenie/utepliteli/tablica-teploprovodnosti-i-drugih-kachestv-materialov-dlya-utepleniya.html> (дата обращения: 11.05.2019).
92. Теплопроводность строительных материалов, их плотность и теплоемкость//Thermalinfo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/strojmateriialy/teploprovodnost-stroitelnyh-materialov-ih-plotnost-i-teploemkost> (дата обращения: 11.05.2019).
93. Физические свойства Foamglas®// ОПИ [Электронный ресурс]. – <http://www.o-p-i.ru/katalog-produktsii/penosteklo/o-materiale/fizicheskie-svoystva.html> (дата обращения: 11.05.2019).
94. Наружные стены, стены подвала, покрытия, потолки, фундаменты и полы с теплоизоляцией из пеностекла НЕОПОРМ®, производства ЗАО «СТЭС-ВЛАДИМИР». Электронный ресурс]. – <http://a-stess.com/application/albom/Записка%20АТР.pdf> (дата обращения: 11.05.2019).
95. Продукция// Компания «СТЭС-ВЛАДИМИР» Электронный ресурс]. – <http://a-stess.com/product/> (дата обращения: 11.05.2019).
96. Особенности проектирования и применения технической изоляции Армафлекс. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

					Список использованных источников	Лист
						123
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- http://bildsnab.ru/f/osobennosti_proyektirovaniya_i_primeneniya_tekhnicheskoy_izolyatsii_armafleks_armaflex.pdf (дата обращения: 11.05.2019).
97. Гибкие криогенные системы Armaflex. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.armacell.ru/engineered_systems/files/cryogenic.pdf (дата обращения: 13.05.2019).
98. Теплоизоляция из вспененного каучука Armaflex//Рекомендации по применению с альбомом технических решений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.armacell.ru/album_tech_solutions.pdf (дата обращения: 13.05.2019).
99. K-FLEX ST// Техническая теплоизоляция. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://escomfort.ru/pdf/kflex-st.pdf> (дата обращения: 13.05.2019).
100. K-FLEX ST// K-FLEX INSULATION GROUP. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.k-flex.ru/produkty/teploizolyaciya/k-flex-st> (дата обращения: 13.05.2019).
101. Сравнительная таблица технических характеристик K-Flex Energo и K-Flex ST. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ckpe.ru/articles/pochemu-k-flex-energo/> (дата обращения: 13.05.2019).
102. K-FLEX ENERGO// K-FLEX INSULATION GROUP. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energo.k-flex.ru/produkty-i-resheniya/teploizolyaciya/k-flex-energo> (дата обращения: 13.05.2019).
103. О материалах K-FLEX. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://facad96.ru/k-flex> (дата обращения: 13.05.2019).
104. Cryogel Insulation// Техническое руководство. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tutteplo.ru/documents/CryogelZ_texniheskoeRukovodstvo.pdf (дата обращения: 13.05.2019).
105. Cryogel ® Z Blanket//Buyaerogel. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.buyaerogel.com/product/cryogel-z/> (дата обращения: 13.05.2019).
106. Аэрогель//Академик. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/88427> (дата обращения: 13.05.2019).
107. Аэрогель: вещество легче воздуха// Популярная механика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.popmech.ru/technologies/11732-kak-nadut-rossiyskuyu-armiyu-obman/#part0> (дата обращения: 13.05.2019).
108. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ (последняя редакция) [Электрон-

					Список использованных источников	Лист
						124
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- ный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 15.05.2019).
109. ГОСТ 30244-94 Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9056051> (дата обращения: 15.05.2019).
110. Перлит вспученный (ООО "ПетроПерлит")// Портал теплоизоляции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tutteplo.ru/catalog/370/391/_aview_b7043 (дата обращения: 15.05.2019).
111. «Северсталь» приступила к поставкам уникальной криогенной стали для объектов завода по производству и хранению сжиженного природного газа (СПГ)//Сересталь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.severstal.com/rus/media/news/document21891.phtml> (дата обращения: 15.05.2019).
112. Таблица плотности, теплопроводности и паропроницаемости различных материалов//ППУ 21 Век. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ppu21.ru/article/76.html> (дата обращения: 15.05.2019).
113. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности объектов сжиженного природного газа". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2018/12/29/rostexnadzor-prikaz-588-site-dok.html> (дата обращения: 15.05.2019).
114. ВРД 39-1.10-064-2002 Оборудование для сжиженного природного газа (СПГ). Общие технологические требования при эксплуатации систем хранения, транспортировке и газификации ". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293799/4293799358.htm> (дата обращения: 15.05.2019).
115. 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. Часть 3. Компоненты бетона. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/66194/> (дата обращения: 15.05.2019).
116. ISO 16903:2015 Petroleum and natural gas industries - Characteristics of LNG, influencing the design, and material selection. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16903:ed-1:v1:en> (дата обращения: 15.05.2019).
117. ГОСТ Р 56719-2015 Газ горючий природный сжиженный. Отбор проб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

					Список использованных источников	Лист
						125
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- <http://docs.cntd.ru/document/1200127237> (дата обращения: 15.05.2019).
118. 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.
 119. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. второе, Москва, Энергия, 1977. – 344 с.
 120. Исаченко В.П. Теплопередача. Учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: «Энергия», 1975. - 488 с.
 121. Программа расчета K-PROJECT // K-Flex. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.k-flex.ru/tehnicheskaya-podderzhka/programma-rascheta-k-project> (дата обращения: 19.05.2019).
 122. Теплопроводность строительных материалов — таблица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/strojmateriay/teploprovodnost-stroitelnyh-materialov-ih-plotnost-i-teploemkost> (дата обращения: 22.05.2019).
 123. ISO 12241. Thermal insulation for building equipment and industrial installations – Calculation rules. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sis.se/api/document/preview/909931/> (дата обращения: 22.05.2019).
 124. ГОСТ Р 57608-2017. Газ горючий природный. Качество. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200146521> (дата обращения: 22.05.2019).
 125. ГОСТ 31913-2011 (EN ISO 9229:2007) Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200101310> (дата обращения: 22.05.2019).
 126. Поваляев М.И. Покрытия и кровли промышленных зданий. – М.: Издательство литературы по строительству, 1969. – 177 с.
 127. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 08.06.2019).
 128. ТОИ Р-112-17-95 Типовая инструкция по организации безопасного проведения газоопасных работ на предприятиях нефтепродуктообеспечения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003639> (дата обращения: 08.06.2019).
 129. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

					Список использованных источников	Лист
						126
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- <http://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 08.06.2019).
130. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 08.06.2019).
131. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 08.06.2019).
132. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 08.06.2019).
133. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 08.06.2019).
134. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения: 08.06.2019).
135. ГОСТ 12.1.008-76 ССБТ. Биологическая безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-008-76-ssbt> (дата обращения: 08.06.2019).
136. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 08.06.2019).
137. ГОСТ Р 53327-2009. Теплоизоляционные конструкции промышленных трубопроводов. Метод испытания на распространение пламени. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53327-2009> (дата обращения: 08.06.2019).
138. Экологические аспекты СПГ-проектов в арктических условиях// Всемирный фонд дикой природы (WWF). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wwf.ru/upload/iblock/b3c/spg_web.pdf (дата обращения: 08.06.2019).
139. В.С. Краснова, В.Ф. Мартынюк. Барьеры безопасности на хранилищах сжиженного природного газа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

					Список использованных источников	Лист
						127
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

<http://article.gubkin.ru/ru/file/1137> (дата обращения: 08.06.2019).

140. Пряхина В.С. Анализ аварий на объектах производства, хранения и морской транспортировки СПГ: причины возникновения и характер протекания//Материалы III международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах» (Уфа, 17–20 февраля 2009 г.). – Уфа, 2009. – С. 187–194.

					Список использованных источников	Лист
						128
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Приложение А

(обязательное)

Таблица А.1 – Нормативно техническая документация по проектированию и эксплуатации систем хранения СПГ

Название	Дата начала действия	Область применения	Основное содержание
Проектирование и эксплуатация крупнотоннажных комплексов СПГ			
ГОСТ Р 56352-2015	01.09.2015	Вновь проектируемые и реконструируемые объекты производства и хранения изотермическим способом сжиженного природного газа.	Требования к комплексам СПГ (КСПГ), установкам по производству СПГ, системам контроля и автоматизации, связи и сигнализации КСПГ, инженерным системам КСПГ, строительству КСПГ, его эксплуатации и ремонту, охране труда и окружающей среды, а также к подготовке персонала.
СП 240.1311500.2015	31.06. 2015	Устанавливает требования пожарной безопасности к хранилищам СПГ, в которых СПГ содержится в надземных двухоболочечных резервуарах с полной герметизацией.	Требования к размещению и генеральным планам, к технологическому оборудованию и резервуарам хранения СПГ, к инженерному оборудованию, к противопожарной защите.
Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности объектов сжиженного природного газа"	29. 03.2019	Проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, техническое перевооружение, ремонт, консервация и ликвидация опасных производственных объектов СПГ.	Требования к технологическим процессам, связанным с обращением СПГ, порядок обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов СПГ, требования к анализу опасностей технологических процессов и количественному анализу риска аварий.

					Влияние характеристик теплоизоляционных покрытий на снижение потерь сниженного природного газа при хранении				
Изм	Лист	Ф.И.О.	Подп.	Дата			Литера	Лист	Листов
Разраб.		Вершинина Е.В.		01.06.19		Приложение	ДР	129	135
Руковод.		Чухарева Н. В.		01.06.19					
Консульт.									
Рук. ООП		Брусник О.В.		01.06.19					
					ТПУ гр. 2Б5Б				

Проектирование и эксплуатация малотоннажных комплексов СПГ

ГОСТ Р 55892 – 2013	01.06. 2014	Общие требования к проектированию, строительству, монтажу, реконструкции и эксплуатации вновь вводимых и реконструированных объектов малотоннажного производства и потребления СПГ, предназначенных для изменения агрегатного состояния природного газа (сжижение и регазификация).	Классификация и состав объектов малотоннажного производства и потребления СПГ, нормы и требования безопасности при проектировании, организация эксплуатации объектов, требования безопасности при эксплуатации оборудования, зданий и сооружений, возможные неисправности и аварийные ситуации, меры их ликвидации, методы испытаний станций производства СПГ, криогенных газозаправочных станций, криогенных газонаполнительных станций, криогенных станций газоснабжения.
СП 326.1311500.2017	01.01.2018	Устанавливает требования пожарной безопасности при проектировании, строительстве и реконструкции действующих объектов малотоннажного производства и потребления СПГ, на которых имеет место изменение агрегатного состояния природного газа (сжижение и регазификация) без его переработки.	Требования пожарной безопасности к генеральному плану и размещению объектов малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа, к технологическому оборудованию, к электроснабжению, отоплению, вентиляции и кондиционированию, к системам обнаружения утечек горючих газов и паров, к объемно-планировочным и конструктивным решениям зданий и сооружений и т.д.

Технологические требования при эксплуатации систем хранения, транспортирования и газификации СПГ

ВРД 39-1.10-064-2002	01.07.2002	Общие технологические требования по эксплуатации системы хранения, транспортирования и газификации сжиженного природного газа (СПГ).	В части систем хранения - технология эксплуатации надземных криогенных резервуаров любого объема. В части систем транспортирования - перевозка СПГ автомобильным и железнодорожным транспортом. В части систем газификации - технологию эксплуатации установок и устройств, использующих для испарения СПГ тепло атмосферного воздуха, тепло воды и других жидких теплоносителей или огневой подогрев.
----------------------	------------	--	--

					Приложение	Лист
						130
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Проектирование изотермических хранилищ СПГ

ВНТП-51-1-88	13.08.1987	Указания, обязательные при проектировании установок по производству СПГ, изотермических хранилищ и газозаправочных станций СПГ. Изотермические хранилища СПГ с максимально допустимым общим объемом хранения: наземные - 8000 м³ при единичной емкости резервуара не более 600 м³, подземные - 60000 м³ при единичной емкости резервуара не более 10000 м³.	Нормы хранения СПГ, типы хранилищ, порядок их размещения, состав проектной документации на строительство изотермического хранилища, требования к материалам и элементам конструкций резервуаров, требования к технологической обвязке резервуаров, средствам поддержания и регулирования давления в паровом пространстве резервуара и средствам КИП и А.
ГОСТ Р 58027 – 2017	01.01.2020	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.	Принципы и правила, применяемые к строительному проектированию резервуара при его изготовлении, испытании, вводе в эксплуатацию, эксплуатации (включая эксплуатацию в чрезвычайных условиях) и выводе из эксплуатации.
ГОСТ Р 58032–2017			Общие требования к материалам, проектированию, изготовлению и монтажу металлических конструкций резервуаров-хранилищ для сжиженного газа.
ГОСТ Р 58028–2017			Общие требования к проектированию и возведению бетонных конструкций резервуаров для хранения сжиженных газов.
ГОСТ Р 58029–2017			Основные требования к материалам, проектированию и монтажу изоляции
ГОСТ Р 58030–2017			Требования к испытаниям, высушиванию, очистке и охлаждению резервуаров
		Приложение	Лист
			131
Изм	Лист		
№ докум	Подп.		Дата

					Продолжение таблицы А.1	
Свойства СПГ						
ГОСТ Р 57431-2017		01. 01.2018	СПГ и криогенные материалы, используемые в индустрии СПГ.		Общие характеристики СПГ (состав, плотность, температура, вязкость, физические свойства). Требования безопасности и охраны труда. Материалы, используемые в индустрии СПГ	
ГОСТ Р 56851 – 2016		01.01. 2017	Расчет термодинамических свойств СПГ при давлениях до 5 МПа включительно и температурах от 100 до 140 К.		Метод расчета термодинамических свойств (плотность, коэффициент сжимаемости, показатель адиабаты, скорость распространения звука) СПГ по измеренным значениям давления, температуры и молярных долей компонентов.	
ГОСТ Р 56719 – 2015		01.01. 2017	СПГ, поступающий с установок сжижения, а также подаваемый для дальнейшего хранения, транспортирования и потребления.		Требования безопасности, требования к охране окружающей среды, к квалификации персонала, а также порядков действий при проведении отбора проб СПГ.	
ГОСТ Р 56835– 2015		01.01.2017	Отпарной газ, образующийся в технологическом оборудовании в процессах производства, хранения и транспортирования СПГ.		Хроматографический метод определения молярной доли компонентов отпарного газа производства СПГ, в диапазонах, приведенных в ГОСТ Р.	
Свойства СПГ в качестве топлива						
ГОСТ Р 56021– 2014		01.01. 2016	СПГ, используемый в качестве моторного топлива для ДВС, а также топлива для энергетических установок промышленного и коммунально-бытового назначения.		Показатели качества поставляемого потребителям СПГ (марок А,Б,В), требования безопасности и охраны окружающей среды, правила приемки СПГ, методы испытаний, требования к транспортированию и хранению, указания по применению, гарантии поставщика.	
ТУ 51-03-03–85 с изм. № 3		01.08.1985	СПГ, предназначенного для использования в качестве моторного топлива для транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания, использующихся в любых климатических зонах		Технические требования к СПГ, требования безопасности, правила приемки и отпуска, методы контроля, требования к транспортированию и транспорту, гарантии изготовителя.	
			Приложение			Лист
						132
Изм	Лист	№ докум				Подп.

Приложение Б

(обязательное)

Таблица Б.1 – Рекомендуемые к использованию изоляционные материалы для одинарных и двойных резервуаров [6]

Материал	Опорное кольцо	Изоляция днища	Крыша		Оболочка	
			Внешняя	Внутренняя (с подвесным перекрытием)	Внешняя в одинарном стальном резервуаре	Резервуары с двойной стальной оболочкой
Твердые породы дерева	X					
Перлитовые бетонные блоки (балка)	X					
Легкие бетонные блоки (балка)	X					
Железобетон	X <1>					
Пеностекло	X <2>	X	X		X	X
Вспученный перлит				X		X
Минеральная вата				X		X <3>
Пенофенопласт					X	
Пенополистирол					X <4>	
Экструдированный пенополистирол - ND					X <4>	
- HD		X				
HD - высокая плотность				ND - нормальная плотность;		
<1> Должен использоваться как плита, распределяющая нагрузки от нижерасположенного термоизоляционного материала. <2> Для данного применения может потребоваться плита для распределения нагрузки. <3> Слой минеральной ваты может применяться в качестве упругого покрытия между перлитовой изоляцией и внутренней оболочкой резервуара. <4> Только для двойной локализации (ограниченная температуростойкость).						

Таблица Б.2 – Рекомендуемые к использованию изоляционные материалы для двухоболочечных резервуаров закрытого типа [9]

Материал	Кольцевая балка	Днище (нормальная эксплуатация)	Изоляция крыши		Изоляция оболочки (стенки) (нормальная эксплуатация)		Система термозащиты	
			На подвесном перекрытии	На куполе внутреннего резервуара	В промежуточном пространстве	На внутренней поверхности стенки	Без пластины из стали с 9% никеля	С пластиной из стали с 9% никеля
Твердые породы дерева	X							
Перлитовые бетонные блоки (балка)	X							
Легкие бетонные блоки (балка)	X							
Железобетон	X <1>							
Пеностекло	X <2>	X						X
Вспученный перлит			X	X	X			
Минеральная вата			X	X	X <3>			
<1> Должен использоваться как плита, распределяющая нагрузки от нижерасположенного термоизоляционного материала. <2> Должен применяться под плитой распределения нагрузки. <3> Слой минеральной ваты может применяться в качестве упругого покрытия между перлитовой изоляцией и внутренней оболочкой резервуара. <4> Только для специальных классов напыляемых монолитных паро- и влагонепроницаемых систем.								

Таблица Б.3 – Рекомендуемые к использованию изоляционные материалы для мембранных резервуаров [9]

Материал	Изоляция дна	Изоляция стенки	Изоляция крыши	
			Подвесное перекрытие	Внутри купольной крыши
Твердые породы дерева				
Пеностекло				
Вспученный перлит			X	
Минеральная вата			X	
<1> Только верхняя часть стены.				

Приложение В

(обязательное)

Таблица В.1 – Характеристики теплоизоляционных материалов [73-110,112]

Параметр	Вспучен- ный пер- лит	Пеностекло FOAMGLA S®	Пеностекло HE- ОПОРМ®	Плиты из минераль- ной ваты	Вспенен- ный каучук Armaflex	Вспенен- ный каучук K-FLEX	Пенополи- стирол	Экструдир- ованный пенополи- стирол	Cryogel™ Z
Температур- ный интервал эксплуата- ции, °С	от -200 до +875	от -260 до + 430	от - 268 до 485	от – 200 до +750	от- 200 до +150	от – 200 до +105	от -180 до +80		от -260 до+90
Плотность, кг/м ³	50...600	115...165	100...200	15...220	40...70	15...65	40...150	20...45	130
Теплопро- водность при 25 ±5 °С, (Вт/м· К)	0,043- 0,064	0,040-0,052	0,045-0,060	0,031-0,042	0,035-0,040	0,037-0,038	0,038 - 0,05	0,031 - 0,038	0,0143
Теплопро- водность при -160 °С, (Вт/м·К)	-	0,020-0,031	0,025	-	0,021	0,024 (при - 100 °С)	-	-	0,0112
Водопогло- щение, об. %	50...60	< 0,5 (кг/м ²)	< 2			0,5...2,4	0,5...4	0,2...0,4	< 4
Прочность на сжатие, МПа	0,1 - 0,6	0,6-1,6	0,8-2,5	0,03 - 0,15	0,37		0,04 - 0,2	0,12 - 0,2	1,7
Горючесть	НГ	НГ	НГ	НГ-Г2	Г1	Г1	Г2-Г3	Г1	НГ
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	Приложения		Лист		
							135		