

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВГО СОСТОЯНИЯ ФУНДАМЕНТНОГО ОСНОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРА ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)

УДК 697.1:624.153:621.642.23:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Степанова Ольга Вячеславовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Максимов Вячеслав Иванович	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
Р8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
Р9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
Р10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
Р11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как

	средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ

Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ТПТ

Кузнецов Г.В.

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группы	ФИО
5Б2Б	Степановой Ольге Вячеславовне

Тема работы:

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВГО СОСТОЯНИЯ ФУНДАМЕНТНОГО ОСНОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРА ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)	
Утверждена приказом ректора (дата, номер)	№ 2540 о/с от 01.04.2016.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования - тепловое состояние фундаментного основания низкотемпературного резервуара для хранения СПГ на вечномерзлом грунте. Предмет исследования - распределение температуры в различных частях конструкции фундаментного основания резервуара для хранения СПГ.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и анализ научных статей по направлению исследования.</p> <p>Решается двумерная нестационарная задача теплопроводности в элементах конструкции фундаментного основания низкотемпературного резервуара для хранения СПГ.</p> <p>Проведение серии экспериментов для выбора правильной конструкции фундамента низкотемпературного резервуара-хранилища исключающего промерзание основной опорной конструкции и окружающего грунта.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>10 слайдов</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основной раздел	Максимов В.И. доцент, к.т.н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова С.Н. доцент, к.э.н.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г. доцент, к.т.н.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Введение, анализ современного состояния, постановка задачи и её решение, анализ полученных результатов, заключение.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	29.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Максимов В.И.	К.Т.Н.		29.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Степанова О.В.		29.02.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 83 с., 41 рис., 12 табл., 22 источника.

Ключевые слова: математическое моделирование, тепловое состояние фундамента, промерзание грунта, теплофизические свойства, сжиженный природный газ.

Объектом исследования является: тепловое состояние фундаментного основания наземного низкотемпературного резервуара для хранения сниженного природного газа.

Цель работы – исследование теплового состояния фундаментного основания наземного низкотемпературного резервуара для хранения сниженного газа.

В процессе исследования проводились: математическое моделирование теплового состояния фундаментного основания наземного низкотемпературного резервуара для хранения сниженного газа.

В результате исследования получены распределения температур в фундаментном основании резервуара для хранения сжиженного природного газа.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: математическое моделирование проводилось с помощью программы MathWorks Matlab, рассматривается низкотемпературный резервуар для хранения СПГ. Температура внутри резервуара $T=-161$ °С, температура грунта принимается $T_{г}=5$ °С.

Область применения: объекты теплоэнергетики, использующие сжиженный природный газ, нефтегазовая и химическая отрасли промышленности.

Экономическая эффективность/значимость работы состоит в том, что выбор правильной конструкции фундамента низкотемпературного резервуара-хранилища исключаяющего промерзание основной опорной конструкции и окружающего грунта является основной составляющей при экономичном и безопасном хранении СПГ.

В будущем планируется рассмотрение задачи с более сложной конфигурацией фундаментного основания и учетом многих факторов влияющих на тепловой режим конструктивных элементов.

Оглавление

Введение.....	8
1 Анализ современного исследования теплового состояния резервуара для хранения сжиженного природного газа.....	10
2 Постановка задачи и методы ее решения.....	27
2.1 Физическая постановка задачи.....	27
2.2 Математическая постановка задачи.....	30
2.3 Решение сформулированной задачи.....	32
3 Тестовые задания.....	34
4 Результаты и анализ математического моделирования теплового состояния фундаментного основания низкотемпературного резервуара для хранения СПГ.....	37
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	41
6 Социальная ответственность.....	57
Заключение.....	77
Список использованной литературы.....	79

Введение

Производство СПГ - стремительно развивающаяся отрасль в мировой энергетике. На газовом рынке наблюдается рост внимания к сжиженному газу, так как использование СПГ позволяет решать проблему обеспечения различных объектов, в том числе промышленных предприятий, не имеющих централизованного газоснабжения, бытовым газом, электричеством и теплом посредством установки автономных теплоэлектростанций.

Технологическая цепочка СПГ представляет три основных этапа: первый - добыча природного газа и его сжижение; второй - транспортировка СПГ и третий - хранение СПГ в специальных криогенных терминалах, с последующей регазификацией.

Строятся тысячи хранилищ по всему миру, такие хранилища можно встретить на нефтеперерабатывающих заводах, терминалах по импорту и экспорту газа, заправочных станциях, централизованных хранилищах.

Хранение газа является частью всей промышленности природного газа, которая требует огромных вложений в сооружении резервуаров, снижение вложений можно достигнуть путем правильного подбора материала конструкции, так же не маловажным является правильно выбранный и подсчитанный фундамент, так как хранилища имеют различную конструкцию, выполняются подземными и надземными, имеют различную форму и размеры.

Для экономичного и безопасного хранения сжиженного газа производится исследование теплового состояния фундаментного основания резервуара.

Актуальность работы:

Выбор правильной конструкции фундамента низкотемпературного резервуара-хранилища исключающего промерзание основной опорной конструкции и окружающего грунта является основной составляющей при экономичном и безопасном хранении СПГ.

Цель работы:

Математическое моделирование теплового состояния фундаментного основания наземного низкотемпературного резервуара для хранения сниженного природного газа.

Задачи:

1. Выбор физической и математической модели решения данной задачи.
2. Получение распределения температур в фундаментном основании низкотемпературного резервуара для хранения СПГ при разных материалах с использованием подогрева и без использования подогрева.
3. Анализ полученного распределения температур и промерзания конструктивных элементов фундаментного основания низкотемпературного резервуара для хранения СПГ.
4. Расчет и анализ разделов: финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, БЖД.

Объект исследования - фундаментное основание низкотемпературного резервуара для хранения СПГ.

Предмет исследования - распределение температуры в различных частях конструкции фундаментного основания резервуара для хранения СПГ.

1 Анализ современного исследования теплового состояния резервуара для хранения сжиженного природного газа

Исследованию теплового состояния резервуара для хранения сжиженного газа посвящено большое количество работ, в [1] приведен наиболее распространённый наземный резервуар для хранения сжиженного природного газа (Рисунок 1).

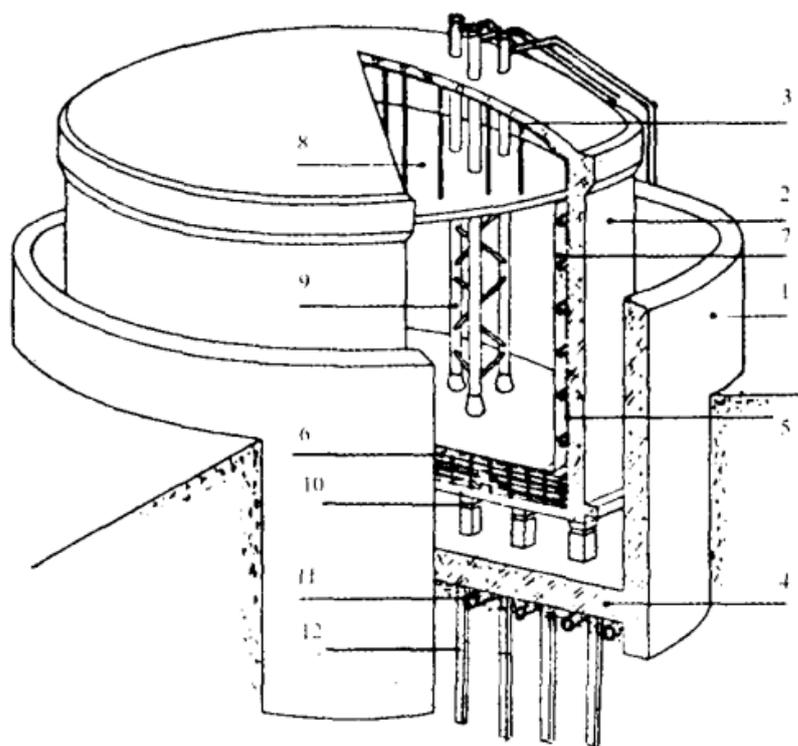


Рисунок 1-Конструкция низкотемпературного резервуара для хранения СПГ.

1-защитный кессон; 2-железобетонная наружная оболочка, 3-стальная крыша наружной оболочки; 4- опорная плита фундамент; 5- стальная облицовка наружной оболочки; 6- блоки пеностекла; 7-внутренняя оболочка; 8- подвесная крышка; 9- шахта с насосами; 10-амортизирующие прокладки;11- дренажные трубопроводы;12- сваи.

Особое значение в работоспособности всей конструкции резервуара имеет правильно выбранный и рассчитанный фундамент[1]. Сооружение низкотемпературных резервуаров требует учета влияния отрицательных температур, так как они могут вызвать недопустимую деформацию при промерзании грунта. Это приводит к перекоосу фундамента и разрушению резервуара.

Эксплуатационная надежность и максимальная экономичность хранения сжиженных газов в низкотемпературных резервуарах обеспечивается в том случае, если правильно выбран материал конструкций (металла, железобетона, изоляции) и в фундаменте нет деформаций. Днище внутренней и наружной оболочки выполняют из стальных листов, сваренных внахлестку. Между листами днища укладывается слой термоизоляционного материала.

Для предотвращения отрыва утора резервуара от фундамента под воздействие избыточного давления внутри резервуара утор крепят анкерами к фундаментной плите.

При проектировании фундаментов тщательно изучают свойства грунтов и подбирается его тип. На непучинистых грунтах фундамент сооружают на грунтовом основании. При пучинистых нужно предотвратить промерзание, так как слой пеностекла не может полностью предотвратить теплообмен между грунтовым и основанием. Что бы предотвратить промерзание грунта, дно резервуара обогревается. Для обогрева грунта под фундаментом помещают теплообменники (Рисунок 2).

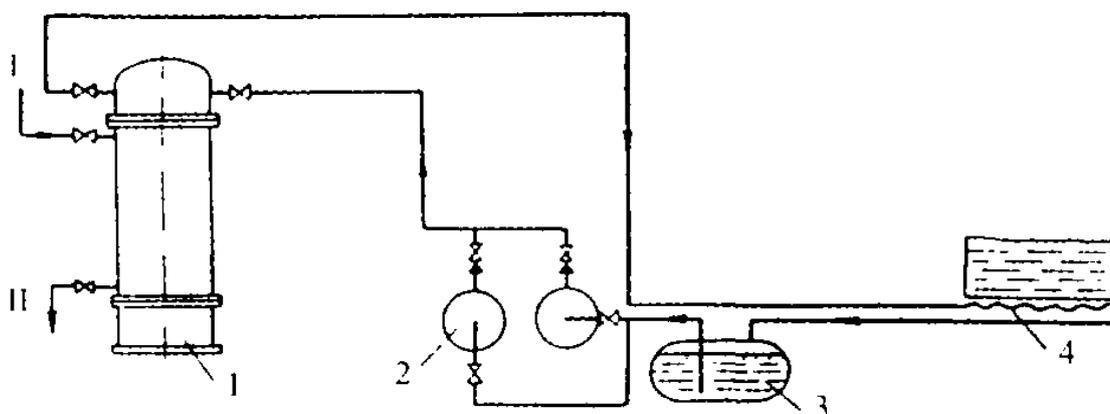


Рисунок 2- Схема установки обогрева фундаментного основания наземного низкотемпературного хранилища

1-теплообменник; 2- центробежный насос; 3-промежуточная емкость; 4- змеевик-радиатор; I-подача пара; II-отбор пара.

Важными мероприятиями по защите фундамента от подземных вод и сырости, являются: отвод дождевых и талых вод, устройство дренажей для осушения грунта, применение гидроизоляции.

Для полного изучения теплового состояния низкотемпературного наземного хранилища проведены исследования в таких областях как, явление ролловера, теплоперенос в ограждающих конструкциях, промерзание грунта, процесс конденсации газа, влияние тепловой изоляции.

Было проведено численное моделирование теплопереноса в ограждающих конструкциях резервуаров для хранения газа с учетом промерзания тепловой изоляции. Рассматривается простой резервуар для хранения сжиженного газа. Для ограждающих конструкций резервуара решается нестационарная задача теплопроводности с подвижной границей с учетом зависимости свойств изоляции от объемной доли влаги. В качестве изоляционных материалов выбран полистирол ПС-1 толщиной 50 мм. Увеличение объемной доли влаги в изоляции приводит к уменьшению влияния температуры окружающей среды на увеличение теплопритока.

При $T_{oc} = 290$ К наличие в структуре изоляции до 3 % влаги по объёму увеличит потери холода на 61,6 %. Длительность выхода процесса теплообмена на стационарный режим $t_{ст} = 3,3$ часа [2].

В данной задаче произведено моделирование теплопереноса только в ограждающих конструкциях резервуара, без учета фундаментного основания резервуара и его конструкции, рассмотрена упрощенная модель, которую нельзя использовать в реальности.

В другой работе эта задача решается с учетом упрощений [3]:

- Не рассматривается теплоперенос в объеме резервуара и его металлических стенках;
- Подвижная граница фазового перехода всегда имеет температуру замерзания.
- На внешнем контуре взаимодействия не учитывается конденсация влаги;
- Коэффициент теплоотдачи на наружной границе системы является постоянной величиной.

Представлены результаты численного анализа потерь холода вследствие увлажнения и последующего промерзания слоя тепловой изоляции резервуаров для хранения криожидкостей. Показаны масштабы увеличения теплопритоков и обоснована возможность пренебрежения не стационарностью процессов теплопереноса. Рассматривается тот же упрощенный резервуар для хранения сжиженного газа. Для ограждающих

конструкций резервуара решается нестационарная задача теплопроводности с подвижной границей с учетом зависимости свойств изоляции от объемной доли влаги.

В результате сформулированы выводы:

1. Проведено моделирование теплопереноса в ограждающих конструкциях резервуаров для хранения криогенных жидкостей и численный анализ интенсификации потерь холода с учетом промерзания тепловой изоляции.
2. Вследствие промерзания тепловой изоляции установлены масштабы увеличения на 35...60 % теплопритоков.
3. Выявлено, что можно пренебречь не стационарностью процессов теплопереноса в изоляции резервуаров для хранения криожидкостей.

Анализ результатов исследований говорит об увеличении теплопритоков к резервуару с ростом температуры окружающей среды T_{oc} и объемной доли влаги W , содержащейся в структуре изоляции. Увлажнение и последующее промерзание слоя тепловой изоляции приводят к росту потерь холода до $\delta l=61,6$ % для рассматриваемого диапазона изменений T_{oc} и W . Из полученных результатов можно говорить о том, что при эксплуатации резервуаров для хранения криожидкостей даже при относительно невысоких значениях T_{oc} и W существенно увеличиваются теплопритоки к рассматриваемым объектам [3].

Для исследования теплового состояния резервуара проведено математическое моделирование процесса конденсации природного газа, производится решение задачи тепломассопереноса в условиях конденсации находящегося при низких температурах природного газа.

Введено допущение, по которому теплофизические характеристики газа и в жидком и в газообразном состоянии не зависят от температуры [4]. В рамках такой физической модели задача теплопереноса в системе «жидкость-газ» сводится к решению системы двух дифференциальных уравнений теплопроводности для двуслойного полого цилиндра, заполненного природным газом (Рисунок 3).

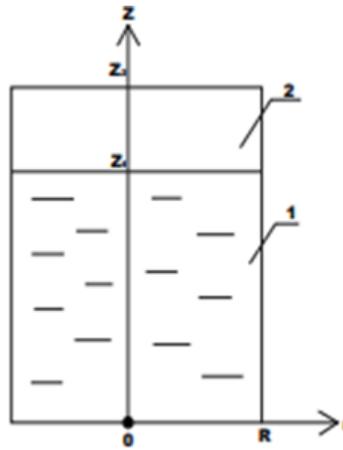


Рисунок 3-Область решения задачи: 1-сжиженный газ, 2-пары СПГ

Предполагалось, что боковая и нижняя торцевая поверхности цилиндра теплоизолированные, а по верхней границе осуществляется «захолаживание».

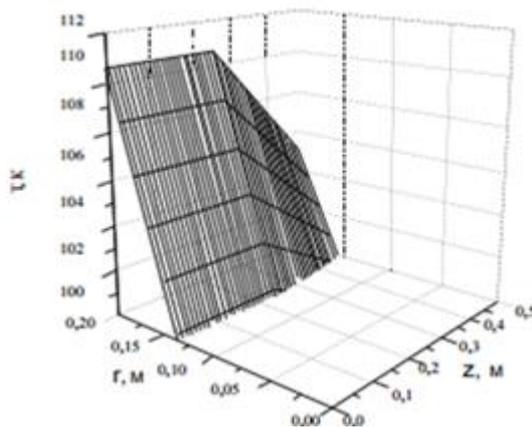


Рисунок 4-Распределение температуры $T(r,z)$ в момент времени $t=100$ с.

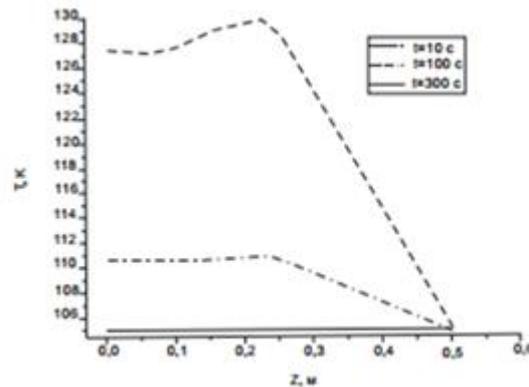


Рисунок 5- Распределение температуры по z при $r=0,14$ м ($t=100$ с).

В заключение можно сказать о возможности регулирования процесса «захолаживания» СПГ в условиях его частичного испарения с относительно малыми затратами энергии и в небольшие интервалы времени[4].

Так же математическое моделирование проводилось для тепловых режимов хранилищ СПГ с учетом сезонного промерзания грунта с помощью программы COMSOL Multiphysics. Проведено математическое моделирование теплопереноса в зоне размещения хранилища сжиженного газа с учетом влияния сезонных растеплений грунта на тепловые режимы хранилища.

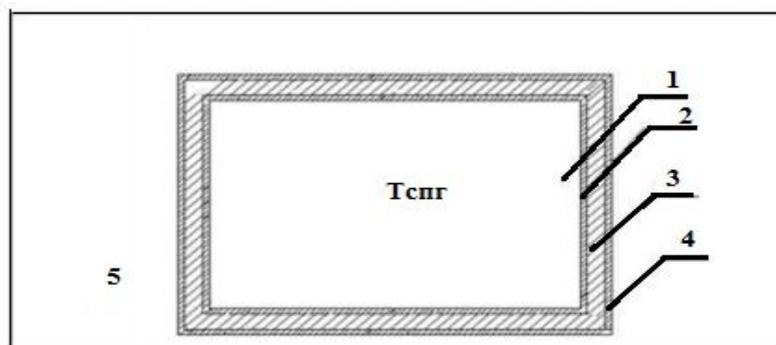


Рисунок 6-Схема поперечного сечения зоны расположения резервуара для хранения СПГ

1-внутренняя область резервуара, 2-внутренняя стенка резервуара, 3-теплоизоляционный слой, 4-наружная стена, 5-грунт.

Результаты представлены в виде графиков температурного поля в зоне хранилища сжиженного газа. На которых наглядно видно изменения линии границы мерзлого и талого грунта. Результаты исследования говорят о необходимости учета изменения теплофизических свойств грунта (теплоёмкости, плотности, теплопроводности) в зоне хранилищ сжиженного газа. При уменьшении температуры окружающей среды границы мерзлого грунта увеличиваются [5].

Существенный недостаток при хранении СПГ это возникновение ролловера, при этом происходит интенсивное перемешивание, накопленное тепло уходит на фазовый переход части жидкости, увеличивая давление в газовой подушке. Такой неконтролируемый рост давления приводит к повреждению хранилища и самой системы заправки [6].

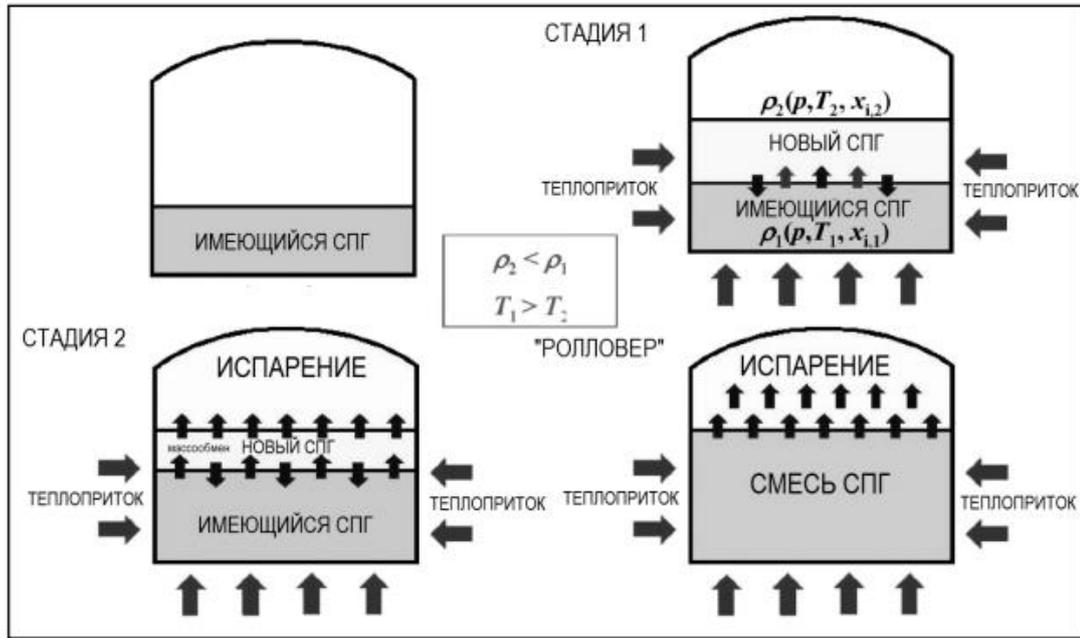


Рисунок 7- Стадии протекания явления ролловера

Решение задачи явления ролловера следует искать в решении задачи в области термодинамики необратимых процессов:

$$\rho \cdot \frac{di}{dt} = \lambda \cdot \nabla^2 T - \text{div}((i_1 - i_2) \vec{j}_1)$$

Где $\rho = c_1 \rho_1 + c_2 \rho_2$ - средняя плотность смеси,

ρ_1, ρ_2 - плотности каждого компонента смеси,

$i = c_1 i_1 + c_2 i_2$ - средняя энтальпия смеси,

\vec{j}_1 - плотность потока массы для первого компонента смеси,

c - концентрации компонентов.

С учетом термо- и бародиффузии получим выражение математической модели поведения жидкости при возникновении явления ролловер:

$$\rho \cdot \frac{di}{dt} = \lambda \cdot \nabla^2 T + \text{div}((i_1 - i_2) \rho D (\nabla m + k_T \cdot \frac{\nabla T}{T} + k_p \cdot \frac{\nabla p}{p}))$$

Где: D - коэффициент взаимодиффузии, T_D, B_D - коэффициенты термо- и бародиффузии, K_T - термодиффузионное отношение, K_p -бародиффузионное соотношение.

На основе представленной математической модели был проведен расчет явления ролловер для горизонтального хранилища СПГ:

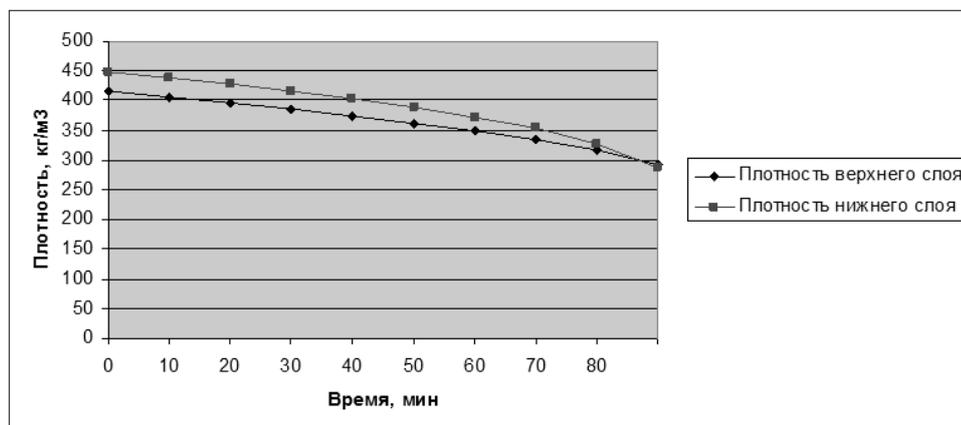


Рисунок 8-График изменения плотности слоев

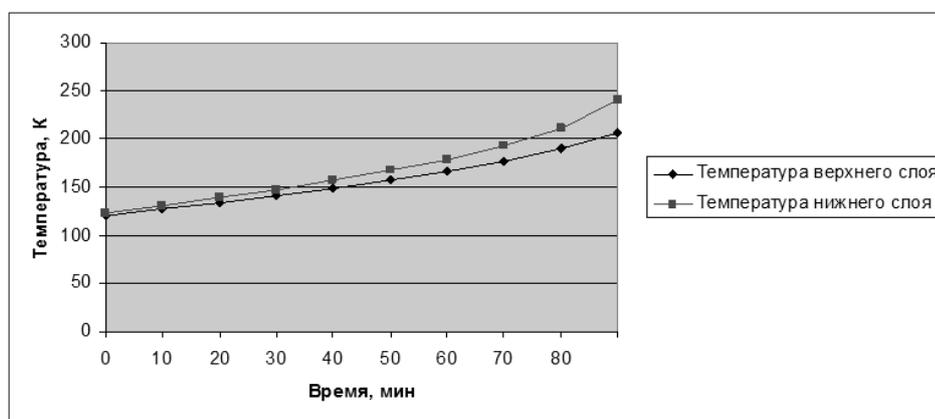


Рисунок 9- График изменения температуры слоев

На последнем этапе, когда плотности слоев становятся равными, происходит перемешивание двух слоев жидкости. Накопленное тепло в нижнем слое выходит в виде пара наружу. Проведенный расчет позволяет определить разницу температур между слоями в момент перемешивания. Из чего возможно определение количества испарившегося газа, а так же значение повышения давления в газовой подушке хранилища СПГ.

Математическое моделирование явления ролловера целесообразно проводить на базе уравнений математической физики, характеризующих взаимосвязанные нелинейные процессы переноса теплоты, массы и импульса. В частности, моделирование тепловой части задачи проводится с использованием уравнения энергии в энтальпийной форме.

$$\rho \cdot \frac{Dh}{Dt} = \nabla(\lambda \nabla T) - \text{div}((h_1 - h_2) \vec{j}_1)$$

Здесь $\rho = \sum_{i=1}^2 c_i \rho_i$ -плотность смеси, $h = \sum_{i=1}^2 c_i h_i$ -удельная энтальпия смеси, ρ - плотность компонента смеси, h - энтальпия компонента смеси, j -плотность потока массы для первого компонента смеси, c - относительная массовая концентрация компонента смеси[6].

Явление ролловера рассматривается и в зарубежных исследованиях[7].

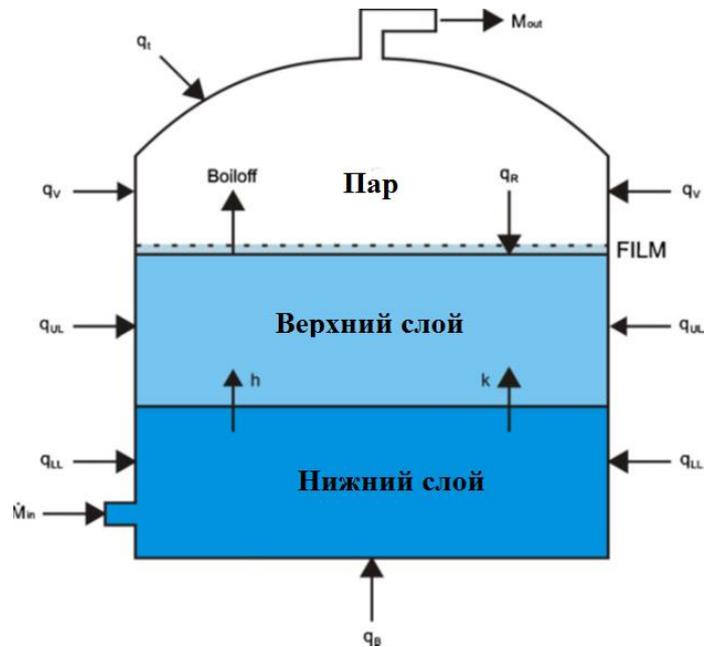


Рисунок 10-Схема резервуара для хранения СПГ.

q_v -тепловой поток от боковой стенки в паровое пространство,Вт/м²;

q_t -тепловой поток из верхней части бака, Вт/м²;

q_b -тепловой поток от дна резервуара, Вт/м²;

q_{ll} - тепловой поток от боковой стенки резервуара к нижнему слою, Вт / м²;

q_{ul} - Тепловой поток от боковой стенки резервуара к верхнему слою , Вт / м²;

q_R - тепловой поток из парового пространства в жидкое ,Вт / м²;

M_{out} - Общий молярный объем потока из бака , кг моль / с;

k -теплопроводность СПГ,Вт/мК;

h -коэффициент теплопередачи, Вт/м²К;

Изменение состава и температуры СПГ в каждом слое может быть оценено путем применения материального и энергетического баланса в каждом отдельном слое.

Материальный баланс

Нижний слой:

$$\frac{d}{dt} [C_l \delta_l x_l(i)] = \dot{M}_l / A \cdot x_l(i) - k \cdot (x_l(i) - x_u(i));$$

Верхний слой:

$$\frac{d}{dt} [C_u \delta_u x_u(i)] = \dot{M}_u / A \cdot x_u(i) - \dot{M}_v y(i) - k \cdot (x_u(i) - x_l(i));$$

Молярная скорость испарения с верхней поверхности:

$$\dot{M}_v = \left(\frac{\dot{M}_R (\overline{H}_B - \overline{H}_s + f_Q (Q / A))}{(\overline{H}_V - \overline{H}_B)} \right),$$

f_Q - это доля от общего тепла, передаваемого в паровом пространстве, которое возвращается в жидкое состояние, и принимается равным 95%.

$$Q = q_t + q_v \pi D \delta_{vs}$$

Концентрацию СПГ рассчитывают по средней плотности и средней молекулярной массе СПГ в соответствующих слоях. Плотность СПГ рассчитывается с использованием корреляции, которая включает в себя зависимость от температуры:

$$\rho = \frac{\sum x_i MW_i}{\sum (x_i V_i) - V_m};$$

$$V_i = f(T);$$

$$V_m = C_k x_{methane};$$

$$c_k = f(T, MW);$$

C_l - Молярная концентрация СПГ в нижнем слое; кг·моль / м³;

C_u - Молярная концентрация СПГ в верхнем слое, кг·моль / м³;

$C_{L,l}$ - молярная теплоемкость сжиженного природного газа в нижнем слое,
Дж / кг·моль·К;

$C_{L,u}$ - молярная теплоемкость сжиженного природного газа в верхнем слое,
Дж / кг·моль·К;

\dot{M}_l - молярный расход от груза до нижнего слоя, кг·моль / с;

A-Площадь поперечного сечения резервуара, м²;

H_B -энтальпия объемной жидкости, Дж / кг·моль;

H_V -энтальпия пара формирующейся из верхнего слоя, Дж /кг·моль;

H_S - энтальпия жидкости на верхней поверхности верхнего слоя, Дж /кг·моль;

M_R - скорость потока между двумя слоями, кг·моль / м² с;

M_u - молярный расход от груза до верхнего слоя, кг·моль /с;

x_L (i) мольная доля i в объеме жидкой фазы в нижнем слое;

x_f (i) мольная доля i в области жидкой фазы в верхнем слое;

y (i) мольная доля пара;

δ_1 —толщина нижнего слоя, м;

δ_u —толщина верхнего слоя, м;

δ_{vS} - толщина слоя парового пространства, м;

Мольный объем V_i -зависит от температуры, V_m -молярный объем метана, Sc -поправочный коэффициент;

Состав нижнего слоя можно получить из уравнения Рауля, а давление насыщения может быть получено из уравнения Антуана. В дополнение к нижнему слою и верхнему, материальный баланс также применяется к области пленки, которая, как предполагается, находится в равновесии.

Состав СПГ впоследствии используется для оценки средней молекулярной массы и теплосодержания СПГ.

Энергетический баланс

Нижний слой:

$$\frac{d}{dt} [C_l \delta_l C_{L,l} (T_l - T_0)] = \dot{M}_l / A \cdot C_{L,l} (T_l - T_0) + q_b + (q_{LL} \pi D \delta_l / A) - h(T_l - T_u);$$

Верхний слой:

$$\frac{d}{dt} [C_u \delta_u C_{L,u} (T_u - T_0)] = \dot{M}_u / A \cdot C_{L,u} (T_u - T_0) + f_q (Q / A) + (q_{Lu} \pi D \delta_u / A) - h(T_u - T_l);$$

Скорость изменения теплосодержания нижнего слоя вычисляется, зная скорость тепла, поступающего из нижнего слоя, скорость тепла, перенесенного из низа бака, скорость тепла, перенесенного из боковых стенок бака и скорость теплообмена между нижним и верхним слоем.

Аналогичным образом, может быть вычислена скорость изменения теплосодержания верхнего слоя путем включения скорости передачи тепла к верхнему слою.

Результаты моделирования

В этом разделе взяты два различных резервуара, где происходит явление ролловера. Модели имеют различные рабочие параметры и начальные условия температуры, состав и различный уровень стратифицированных слоев резервуара для хранения.

Изменение плотности

Плотность нижнего слоя, как показано сплошной линией, уменьшается со временем, в то время как у верхнего слоя, как показано пунктирной линией, со временем увеличивается за счет тепло- и массообмена между слоистыми слоями и выпариванием из верхнего слоя. Плотности, в конечном счете должны достичь равномерного значения, уравнивание плотностей является критерием для прогнозирования явления ролловера. Можно видеть, что явление ролловера происходит около 31 ч и 37 мин (Рисунок 12).

Изменение температуры

Можно увидеть, что температура нижнего слоя уменьшается со временем, температура верхнего слоя увеличивается со временем. Несмотря на то, что нижний слой получает значительную энергию за счет утечки тепла из днища и боковых стенок резервуара, происходит значительный теплообмен между слоями (Рисунок 13).

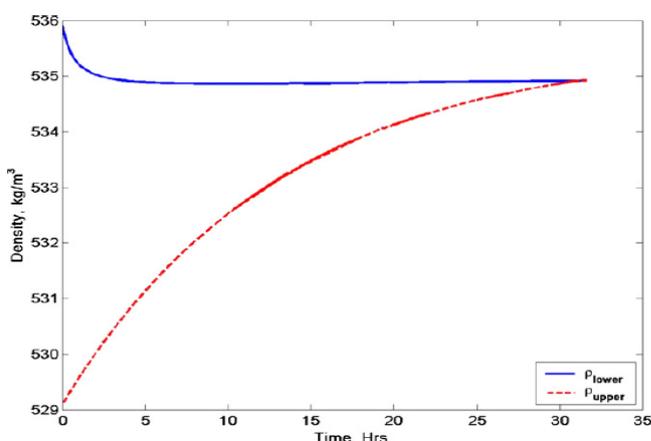


Рисунок 12- Изменение плотности со временем

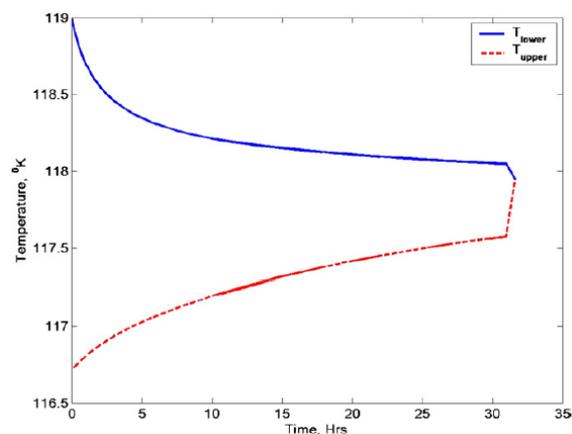


Рисунок 13- Температурный профиль нижнего и верхнего слоя СПГ

Изменение давления и скорости выпаривания

Состав и температура СПГ на верхней поверхности непрерывно изменяется из-за испарения и скорости тепло- и массообмена между слоями. Можно видеть, что повышение давления паров незначительно из-за увеличение скорости испарения. В момент появления ролловера, скорость испарения быстро увеличивается из-за чего давление в резервуаре так же значительно увеличивается.

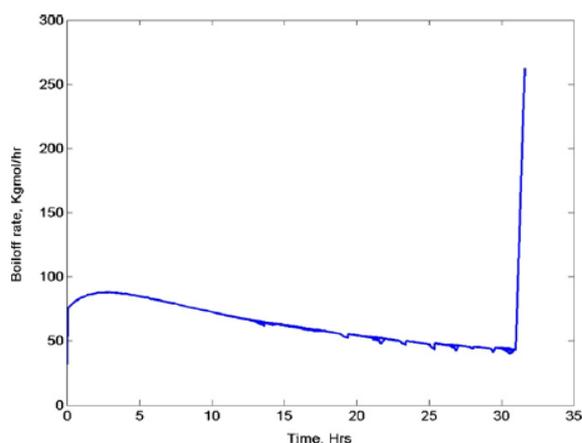


Рисунок 13- График изменения скорости выпаривания от времени

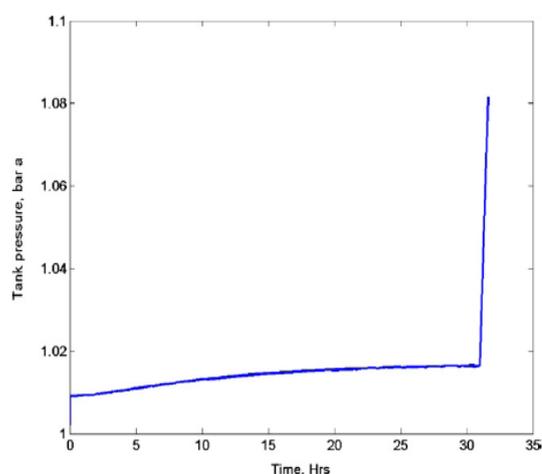


Рисунок 14- График изменения давления от времени

Изменение слоев СПГ

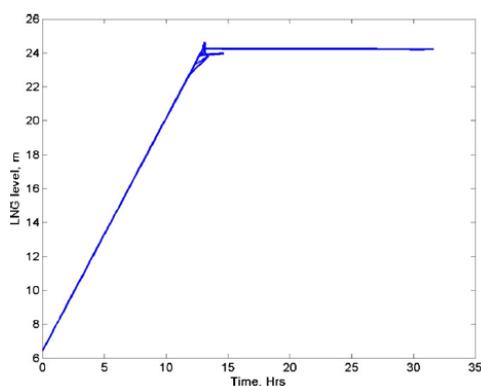


Рисунок 15 –График изменения высоты слоя от времени

Уровень СПГ достиг 24 м в течение 13 ч.

Те же исследования проведены для второго резервуара. После чего проведено математическое моделирование. Сравнивая результаты, получены допустимые отклонения [7].

В другой работе проведен вероятностный анализ резервуара для хранения СПГ.

Испарение сжиженного природного газа так же является одной из важных проблем при его хранении, для этого проводят математическое моделирование процесса теплопереноса в условиях интенсивного локального нагрева[8].

Рассматривается задача теплопроводности в двухслойном полом цилиндре:

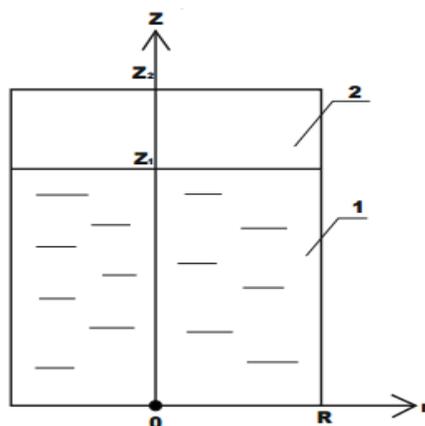


Рисунок 16- область решения задачи: 1- сжиженный газ; 2 – газ в газообразном состоянии

Задача сформулирована в двумерной постановке в цилиндрической системе координат. В реальной практике возможен нагрев малогабаритной емкости с СПГ только на небольшом участке ее внешней поверхности. Поэтому на трех внешних границах сформулированы различные граничные условия. Нижняя поверхность цилиндра теплоизолирована. На боковой поверхности (задача решена в осесимметричной постановке) заданы граничные условия первого рода (постоянная низкая температура). На верхней границе моделируются условия нагрева (задана температура, существенно превышающая начальную температуру области решения).

Граничные условия четвертого рода заданы на границе раздела фаз. В этом условии учитывается теплота фазового перехода (испарения СПГ). Массовая скорость испарения рассчитывалась с использованием математического выражения закона Герца-Кнудсена, широко используемого при решении задач тепломассопереноса в условиях интенсивного испарения жидкостей.

Давление газов– продуктов испарения СПГ рассчитывалось с использованием уравнения состояния идеального газа.

Математическая модель исследуемого процесса имеет вид:

$$C_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right) \right);$$

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right) \right).$$

Здесь T – температура; c – теплоемкость; λ – теплопроводность; ρ – плотность; r, z – координаты цилиндрической системы координат; индекс 1 соответствует сжиженному газу, 2 – газу в газообразном состоянии.

Начальные и граничные условия:

$$T_1 = T_0, T_2 = T_0, t = 0;$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial r} = 0, r = 0; 0 < Z < Z_1;$$

$$T_1 = T_k, r = R; 0 < Z < Z_1;$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial z} = 0, Z = 0; 0 < r < R;$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial r} = 0, r = 0; 0 < Z < Z_2;$$

$$T_2 = T_k, r = R; Z_1 < Z < Z_2;$$

$$T_2 = T_n, Z = Z_2; 0 < r < R;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} + QW \\ T_2 = T_1; \end{array} \right\} z = z_1, 0 < r < R;$$

$$W = \frac{\beta}{1 - k\beta} \frac{(P^n - P)}{\sqrt{2\pi RT / M}};$$

$$P = \frac{\rho R_2 T}{M}.$$

Здесь T_k – температура внешней границы; T_n – температура источника нагрева; Q, W – тепловой эффект и массовая скорость испарения СПГ, соответственно; β – безразмерный коэффициент испарения; k – постоянная; P_n – давление насыщенных паров газа; P – давление паров газа вблизи границы испарения; M – молекулярная масса природного газа; R_2 – газовая постоянная; R, Z_2 – координаты внешней границы области; $-Z_1$ – координата границы раздела «жидкость – газ».

Сформулированная задача теплопроводности решена методом конечных разностей с использованием итерационного алгоритма.

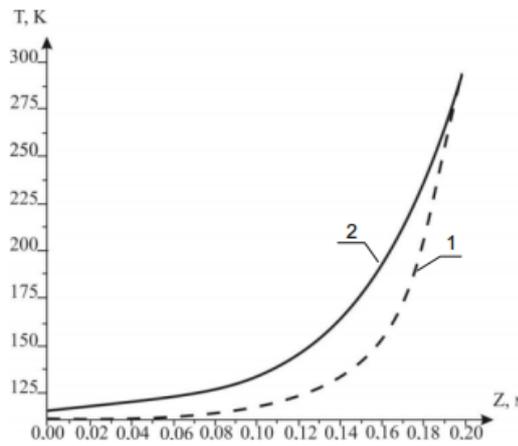


Рисунок 17- Распределение температуры по высоте цилиндра в различные моменты времени 1- $t=300$ с, 2- $t=3600$ с

Приведено распределения температур по Z в сечении $r = 0$ на оси симметрии цилиндра в различные моменты времени, полученные в результате численного решения системы сформулированных уравнений с соответствующими краевыми условиями. Анализ результатов численного моделирования показывает, что даже при относительно кратковременном повышении температуры на одной из границ области в результате интенсивного испарения СПГ возможен рост давления газов до значений, существенно превышающих допустимые. Быстрый подъем давления в случае нагрева верхней границы области, в которой находится газ, обусловлен экспоненциальной зависимостью скорости испарения СПГ от температуры [8].

В зарубежном источнике [9] предложена модель для исследования испарения СПГ в распространённом надземном резервуаре.

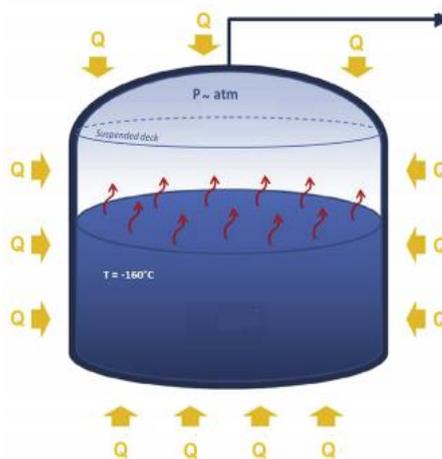


Рисунок 18- Схема резервуара для хранения СПГ

Энергетический баланс количества тепла подведённого системе в единицу времени и скорости паров:

$$Q = \frac{dH_V}{dt} + \frac{dH_L}{dt} + \dot{B}h_V$$

Где H_V и H_L -энтальпия, индексы v-пар, l-жидкость. В-скорость отвода пара.

Скорость отвода пара может быть получена из уравнения материального баланса:

$$-\dot{B} \equiv -\frac{dB}{dt} = \frac{d(\rho_L V_L)}{dt} + \frac{d(\rho_V V_V)}{dt}$$

Где ρ – плотность, V – объем резервуара.

Пар и жидкость внутри бака находятся в равновесии при температуре T , в то время как воздух снаружи при температуре T_v .

Вводится термодинамическая модель, при нагревании, легкие компоненты испаряются, а количество более тяжелых увеличивается. Рассчитывается состав пара и жидкой фазы в зависимости от времени. Для этого мы предполагаем, что обе фазы находятся в термодинамическом равновесии.

Чтобы получить модель испарения, получают константы равновесия от соотношений коэффициента летучести для двух фаз:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{\phi_i^L}{\phi_i^V}$$

Где y и x мольные доли паровой и жидкой фазы, соответственно. Коэффициенты летучести получаются из Уравнения состояния Пэнга-Робинсона.

$$\left(P + \frac{a}{v(v+b) + b(v-b)} \right) (v-b) = RT$$

Где a и b являются эффективными параметрами.

Плотность паровой фазы получается в результате решения уравнения состояния Пэнга-Робинсона при данном давлении и температуры. Плотность жидкой фазы получают на основе другой концепции. Которая основана специально для оценки плотности СПГ. Метод основан на эмпирической корреляции для молярного объема смеси СПГ.

Атмосферный анализ проводили в течение 52 недель. Проведен анализ с использованием трех резервуаров.

Расчет начинается с определения размеров хранилища, рабочего давления, состава СПГ, температуры окружающей среды. Уравнения материального и энергетического баланса решаются с помощью метода конечных разностей, указав временной шаг. Чтобы решить уравнения сначала оценивается количество тепла, которое вошло в резервуар в течение заданного временного шага. Полученные данные были сравнены с данными полученными опытным путем. Погрешность составила менее 1 %, результаты исследования можно использовать для реальных резервуаров.

Таблица 1- Испарение СПГ

Компонент	1 период			2 период		
	Нач. Исп.	Кон. испарение	Опытные данные	Нач. испарение	Кон. испарение	Опытные данные
C ₁	97,18	97,294	97,162	90,300	90,142	90,219
C ₂	2,480	2,410	2,500	6,160	6,399	6,304
C ₃	0,170	0,156	0,171	2,250	2,300	2,303
N ₂	0,030	0,028	0,025	0,36	0,186	0,222
T,C	-159,8	-159,8	-159,8	-159,9	-159,9	-159,7
V,м ³	136	134,9	135,8	136,1	133,2	133,3

2 Постановка задачи и методы ее решения

2.1 Физическая постановка задачи

Рассматривается низкотемпературный наземный резервуар для хранения СПГ (Рисунок 1), имеющий плитный фундамент (Рисунок 19).

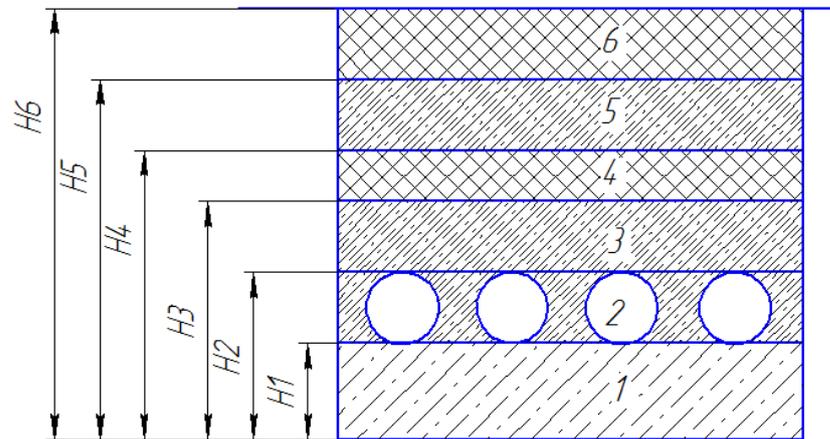


Рисунок 19- Фундаментное основание низкотемпературного резервуара для хранения СПГ.

- 1- бетонные сваи, 2- слой с теплообменниками, 3- опорный фундамент, 4- амортизирующие прокладки, 5- наружная оболочка, 6- блоки пеностекла;

Фундаментное основание разделено на равные части, рассматривается одна из частей, длина и высота $H=L=1\text{ м}$.

Правая и левая граница области решения (Рисунок 20) теплоизолированы. На верхней границе отвод тепла $q_2, \text{ Вт/м}^2$, на нижней границе подвод тепла $q_1, \text{ Вт/м}^2$. Подвод тепла производится за счет теплоты грунта, начальная температура принимается равной температуре грунта $T_0, ^\circ\text{C}$, отвод тепла осуществляется за счет соприкосновения фундаментного основания с низкотемпературным резервуаром.

Имеется внутренний источник тепла во втором слое за счет теплообменника (подогревателя фундамента) $q_3, \text{ Вт/м}^3$.

Физические условия определяют теплофизические характеристики тела: $\lambda_{1-6}, \rho_{1-6}, c_{1-6}$ и приведены в таблице 2.

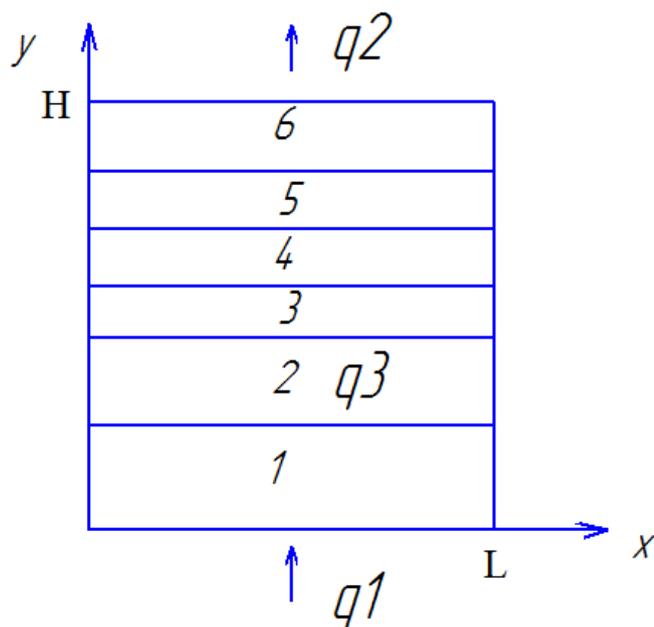


Рисунок 20-Область решения.

Таблица 2- Теплофизические характеристики материала

№	Элемент конструкции	Материал	$\lambda, \text{Вт/м}^0\text{С};$	$c, \text{кДж/кг}^0\text{С};$	$\rho, \text{кг/м}^3$
1	Сваи	Бетон (особо тяжелый/легкий)	1,3	0,88	2800/800
2	Теплообменник	Бетон	1,3	0,88	2000
3	Опорный фундамент	Бетон	1,3	0,88	2000
4	Амортизирующие прокладки	Жесткий пенистый полистирол	0,12	1,11	1050
5	Наружная оболочка	Бетон	1,3	0,88	2000
6	Блоки пеностекла	пеностекло	0,14	1	500

2.2 Математическая постановка задачи

Решается двумерная нестационарная задача теплопереноса в фундаменте резервуара, представляющего собой 6 неоднородностей с разными теплофизическими свойствами и подводом тепла в одном из слоев.

$$\rho_i c_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \lambda_i \left(\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} \right) + q_3, |0 < x < L, 0 < y < H_i|$$

где

ρ_i - плотность i -го слоя конструкции резервуара СПГ, кг/м³;

c_i - удельная теплоемкость i -го слоя конструкции резервуара СПГ, кДж/кг⁰С;

λ_i - коэффициент теплопроводности i -го слоя конструкции резервуара СПГ, Вт/м⁰С;

H_i - высота i -го слоя конструкции резервуара СПГ, м;

L - длина i -го слоя конструкции резервуара СПГ, м;

q_3 - внутренний источник тепла во втором слое, Вт/м³;

Начальные и граничные условия

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H;$$

$$x = 0: -\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} = 0, t > 0;$$

$$x = L: -\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} = 0, t > 0;$$

$$y = 0: \lambda_i \frac{\partial T}{\partial y} = q_1, t > 0;$$

$$y = H: \lambda_i \frac{\partial T}{\partial y} = q_2; t > 0.$$

$$\begin{cases} T_1(x_1, y_1, t) = T_2(x_2, y_2, t); \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} \end{cases}, \text{ пр } | y = H_1, 0 < x < L;$$

$$\begin{cases} T_2(x_2, y_2, t) = T_3(x_3, y_3, t); \\ -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial y} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} & ; \text{при } |y = H_2, 0 < x < L; \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_3(x_3, y_3, t) = T_4(x_4, y_4, t); \\ -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial y} = -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial y} & ; \text{при } |y = H_3, 0 < x < L; \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_5(x_5, y_5, t) = T_4(x_4, y_4, t); \\ -\lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial y} = -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial y} & ; \text{при } |y = H_4, 0 < x < L; \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_5(x_5, y_5, t) = T_6(x_6, y_6, t); \\ -\lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial y} = -\lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial y} + q & \text{при } |y = H_5, 0 < x < L; \end{cases}$$

2.3 Решение сформулированной задачи

Для решения сформулированной задачи вводим равномерную пространственно-временную сетку с координатами:

$$x_i = (i - 1) \cdot h_x, y_j = (j - 1) \cdot h_y, t_n = n \cdot \tau,$$

где h_x, h_y – шаги сетки по координатам x, y ; $i = 1, N_x$; $j = 1, N_y$; $n = 0, K$. τ – шаг по времени; Вся расчетная область (Рисунок 20) покрывается сеткой (Рисунок 21).

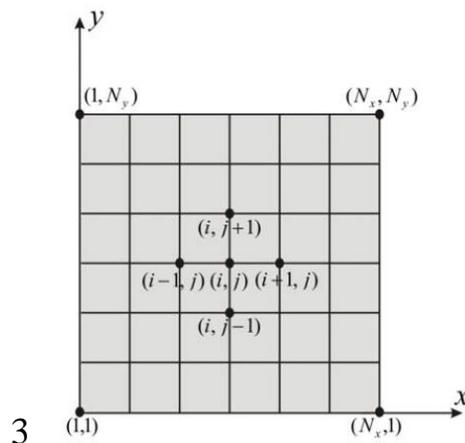


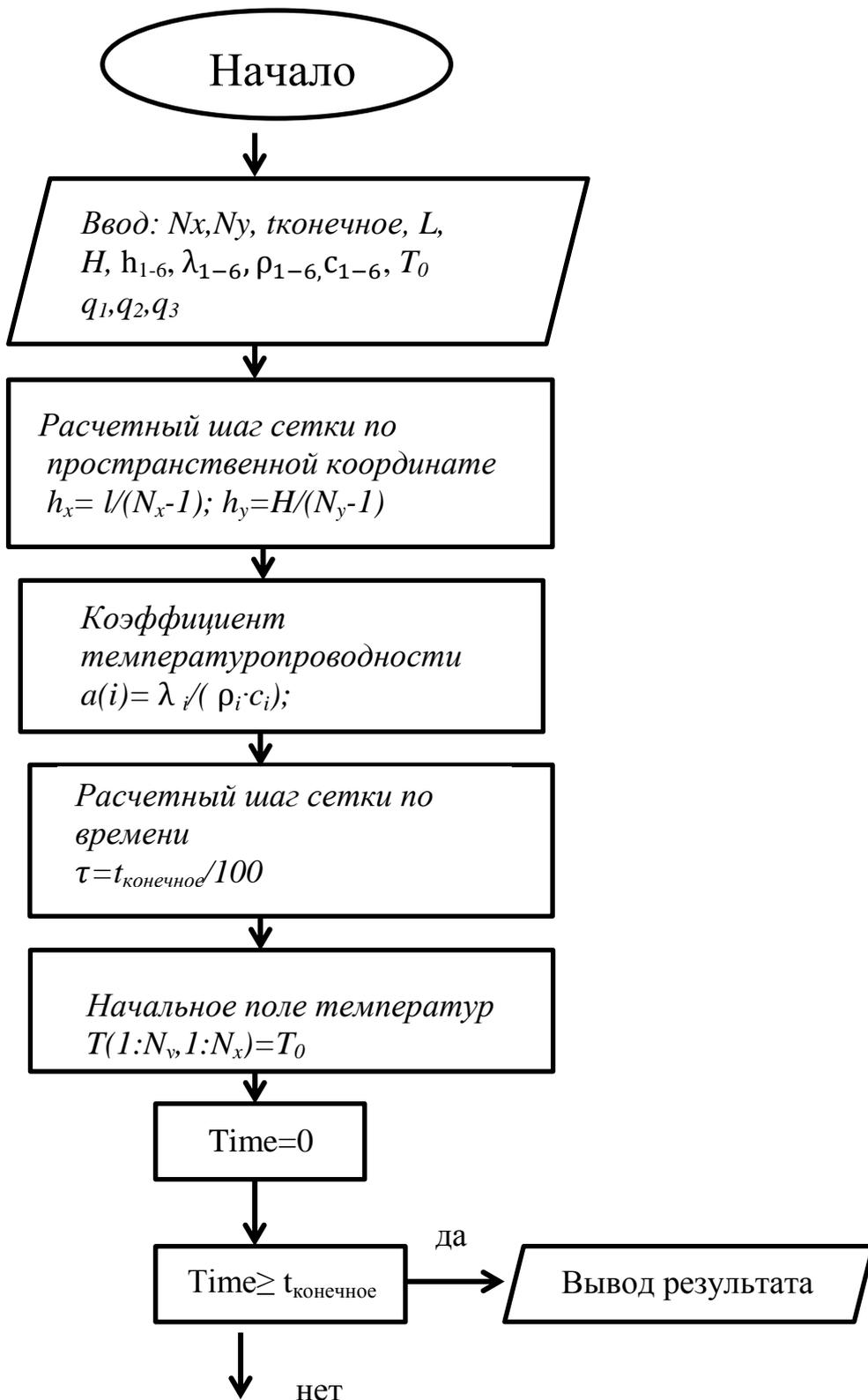
Рисунок 21- Разностная сетка области решения

Решение полученных систем линейных алгебраических уравнений проводится методом прогонки, при этом необходимо учесть, что имеется шесть неоднородностей. Данные включения учитываются в прогоночных коэффициентах на границах сопряжения, а также в коэффициентах канонического уравнения в зависимости от материала элемента.

Дискретизацию уравнений будем проводить на основе локально одномерной схемы А.А. Самарского [10]. Сущность этого метода состоит в

том, что шаг по времени реализуется в два этапа, проводится дискретизация уравнения по оси ОХ и по оси ОУ, решая одномерное уравнение, определяем поле температур на целом шаге по времени. На границах используем средние арифметические параметры теплофизических свойств.

Блок-схема к задаче без подвода и отвода теплоты, с заданными температурами на горизонтальных границах имеет вид:



*Увеличиваем переменную
времени на шаг $time = time + \tau$*

1 слой ось- OX

*Рассчитываем прогоночные коэффициенты
в 1-ом узле сетки по оси x используя
левое граничное условие $\alpha(1)$ и $\beta(1)$*

*Остальные прогоночные
коэффициенты $\alpha(i)$ и $\beta(i)$*

*Определяем температуру на правой
границе, используя правое граничное условие*

*Определяем поле температур на
промежуточном временном слое*

Граница между 1- ым и 2- ым слоем по оси OX

*Рассчитываем прогоночные коэффициенты
в 1-ом узле сетки по оси x используя
левое граничное условие $\alpha(1)$ и $\beta(1)$*

*Рассчитываем прогоночные коэффициенты
в i-ом узле сетки по оси x используя
левое граничное условие $\alpha(1)$ и $\beta(1)$*

*Определяем температуру на правой
границе, используя правое граничное условие*



Определяем поле температур на промежуточном временном слое

Рисунок 22- Блок схема алгоритма программы

Меняя теплофизические свойства, алгоритм повторяется для всех шести слоев и на их границах по оси ОХ в направлении $j=1, \dots, N1$;

Для оси ОУ проводим аналогичный расчет СЛАУ для каждого $i=2, \dots, N-1$;

И переходим к пункту $time \geq t$ конечное.

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

Студенту:

Группа 5Б2Б	ФИО Степановой Ольге Вячеславовне
-----------------------	---

Институт	ЭНИН	Кафедра	Теоретической и промышленной теплотехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов, амортизационные отчисления, заработная плата научного руководителя.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации, нормы премии по счету заработной платы.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка по отчислениям во внебюджетные фонды.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Экспертная оценка сравнения ресурсоэффективности и оценки языков программирования.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление бюджета НИР</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Анализ критериев ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Календарный план</i>
2. <i>Сетевой график</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		4.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Степанова Ольга Вячеславовна		4.03.2016

1 SWOT-анализ

Тема данной работы является математическое моделирование теплового состояния фундаментного основания резервуара для хранения сжиженного природного газа.

Внешняя среда:

1) спрос, характер спроса

Потенциальные клиенты:

а) коммерческие организации, заинтересованные в минимизации своих расходов и качестве производства:

-предприятия, занимающиеся изготовлением резервуаров;

-заводы по изготовлению и хранению СПГ;

-страховые компании.

б) государственные структуры:

-МЧС;

-службы по экологическому, технологическому надзору.

в) экспортный вариант:

-страны производители СПГ: Катар, Малайзия, Алжир и др;

-страны потребители СПГ: Япония, Китай, США и др;

Так же исследования можно использовать для резервуаров похожей конструкции меняя теплофизические свойства материала и некоторые параметры слоев конструкции.

2) Конкуренты

Проектированием в данной области занимаются множество предприятий, использующие методы приблизительной оценки, но не рассматривающие точность распределения температуры в конструкции фундаментного основания: Technip (Франция) и JGC corporation (Япония) и др;

3) Поставщики

Поставщиками программного обеспечения для написания программ и обработки результатов являются корпорации Microsoft и The MathWorks;

Поставщиком техники является компания Samsung;

4) Аудитория влияния

Аудиторией влияния на программное обеспечение является администрация Томского Политехнического Университета.

Внутренняя среда:

1) Проектный продукт и его характеристики

Продукт представляет собой программное обеспечение, результатами работы, которой является распределение температуры по материалу конструкций с разными теплофизическими характеристиками в любой заданный промежуток времени.

2) Обеспеченность, потребность в основных средствах:

- Основными средствами является ПЭВМ.

3) Оборотный капитал

Оборотный капитал отсутствует.

2 Экспертная оценка

Для разработки качественного программного продукта, выбор языка программирования является одним из важнейших шагов. Поэтому произведем сравнительный анализ трех языков программирования:

- 1) Pascal;
- 2) COMSOL Multiphysics;
- 3) MatLab;

Формулируется задача: найти аналитическую модель аттестации языка программирования, основывающуюся на его характеристиках.

Модель экспертной оценки строится по следующим параметрам:

- 1) распространенность;
- 2) простота написания;
- 3) актуальность;
- 4) размер программного кода;
- 5) простота проверки ошибок кода.

Эксперты оценили характеристики товаров по десятибалльной шкале. Далее они оценили важность каждого критерия по 5 балльной шкале (b_j). Все данные представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Оценка конкурентоспособности первым экспертом

Язык программирования	Распространенность	Простота написания	Актуальность	Размер программного кода	Простота проверки ошибок	Сумма
Pascal	9/1,44	8/1,76	5/0,55	3/0,66	3/0,87	5,28
COMSOL	9/1,44	10/2,2	7/0,77	7/1,54	5/1,45	7,40
MatLab	9/1,44	8/1,76	10/1,1	7/1,54	7/2,03	7,87
Важность (b_i) [1-5]	3	4	2	4	5	18
Вес (W_i)	0,16	0,22	0,11	0,22	0,29	1

Таблица 2 - Оценка конкурентоспособности вторым экспертом

Язык программирования	Распространенность	Простота написания	Актуальность	Размер программного кода	Простота проверки ошибок	Сумма
Pascal	8/1,69	6/1,58	4/0,212	4/0,844	4/1,052	5,38
COMSOL	8/1,69	10/2,63	6/0,318	7/1,477	5/1,315	7,43
MatLab	9/1,899	8/2,104	10/0,53	7/1,477	7/1,841	7,85
Важность (b_i) [1-5]	4	5	1	4	5	19
Вес (W_i)	0,211	0,263	0,053	0,211	0,263	1

Для каждого завода изготовителя в столбцах с факторами конкурентоспособности поставлены оценки от 1 до 10, показывающие степень удовлетворения потребностям заказчика.

b_i – важность критерия – в этой строке необходимо было поставить цифру от 1 до 5 (5 – максимальная важность для заказчика).

W_i – весовой коэффициент – в этой строке рассчитан весовой коэффициент каждого фактора конкурентоспособности как отношение важности критерия к сумме важностей всех факторов $b_i/b_{\text{сум}}$.

Суммарный весовой коэффициент равен единице – значит расчёт произведён верно. Таким образом, весовой коэффициент W_i показывает долю важности каждого из факторов конкурентоспособности.

Далее необходимо умножить полученные весовые коэффициенты на оценку эксперта (от 1 до 10) и сумма полученных значений даст итоговую оценку эксперта по каждому поставщику. Итоговые экспертные оценки представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Итоговые экспертные оценки

Язык программирования	Первый эксперт	Второй эксперт	Средняя оценка
Pascal	5,28	5,38	5,330
COMSOL	7,40	7,43	7,415
MatLab	7,87	7,85	7,860

В итоге, по результатам трех независимых экспертных оценок, самый худший результат получил язык программирования Pascal, а высший средний бал по предоставленным критериям отбора получил язык программирования MatLab.

3 Календарный план

Для выполнения исследований по данной работе создана рабочая группа, состоящая из руководителя и студента. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей[12].

Был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5. В таблице 6 представлен календарный план выполнения работ.

Сетевой график — это динамическая модель производственного процесса, отражающий технологическую зависимость и последовательность выполнения комплекса работ, увязывающая их свершение во времени с учётом затрат ресурсов. На рисунке 1 представлен сетевой график.

Таблица 4 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	T_{ki} , кал.дн
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы	1
	2	Оформление технического задания	Студент	1
Подбор и исследование ранние проведенных работ	3	Подбор теоретической информации (литература)	Студент	6
Теоретические исследования	4	Разработка программного обеспечения: распределение температур с заданными температурами на границах и с условиями теплоизоляции.	Студент	6
	5	Разработка программного обеспечения: распределение температур с подводом тепла и с условиями теплоизоляции.	Студент	6
	6	Разработка программного обеспечения: распределение температур с подводом тепла на всех границах	Студент	6
	7	Разработка программного обеспечения: распределение температур с подводом тепла на всех границах и с внутренним источником тепла на одном из слоев.	Студент	10
	8	Анализ результатов	Студент	4

Продолжение таблицы 5

Разработка экономической части	9	SWOT - анализ	Студент	1
	10	Экспертная оценка	Студент	1
	11	Календарный план	Студент	1
	12	Расчет стоимости	Студент	1
	13	Анализ ресурсоэффективности	Студент	1
Расчет БЖД	14	Обеспечение микроклимата рабочего места	Студент	1
	15	Обеспечение региональной безопасности	Студент	1
	16	Обеспечение пожарной безопасности	Студент	1
	17	Обеспечение безопасности на хранилище СПГ	Студент	1
Оформление работы	18	Оформление	Студент	5

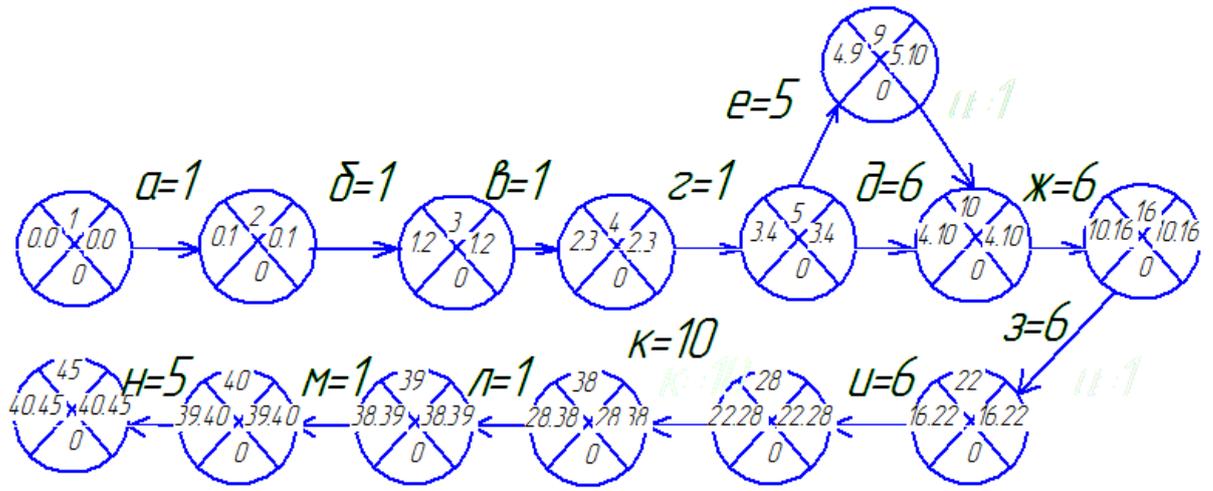


Рисунок 2 – Сетевой график

4 Бюджет, смета проекта

Смета ВКР представлена в таблице 7

Таблица 7 - Смета проекта

Наименование	Единичные расчеты						Суммарные затраты			
	Материалы		Зарплата		Амортизация		Материалы	Зарплата + соц. Отчисления	Амортизация	Сумма
	Тариф	Кол-во	Тариф	Кол-во	Тариф	Часов				
Разработка программного обеспечения	1249,3	1	8580	1	-	-	1249,3	8580	165,88	9995,18

В таблице 8 представлено подробное описание расходов на материалы

Таблица 8 - Расходы на материалы

Расходы	Ед. измерения	Цена	Кол-во	Итого
Канцтовары	-	-	-	630
Заправка картриджа	шт	600	1	600
Электроэнергия	кВт·ч	4,25	4,540	19,3
				1 249,3

В таблице 9 представленные расходы на канцтовары.

Таблица 9 - Канцтовары

Наименование:	Цена
Бумага	230
Ручки	100
Флеш-накопитель	300
	630

В таблице 10 представленные расходы на электроэнергию.

Таблица 10 - Потребления электроэнергии

Источник потребления	Мощность Вт	Кол-во часов	Итого:
Персональный компьютер	70	35	2450
Освещение	50	40	2000
Принтер и МФУ	90	1	90
			4540

Зарплата и отчисление на соц. нужды:

Зарплата руководителя ВКР бакалавра может быть определена по условию часовой оплаты[13]. Норма времени на руководство ВКР бакалавра составляет 22 часа, в соответствии с положением о порядке нормирования труда научно-педагогических работников. Тариф на почасовую оплату составляет 300 р./час для доцента. Поэтому расходы на оплату труда составят $22 \times 300 = 6600$ руб.

Отчисление на социальные нужды $6600 \times 0,3 = 1980$ руб. Суммарные затраты на вознаграждение работников составляют $6600 + 1980 = 8580$ руб.

В таблице 11 представлены расходы на амортизацию.

Таблица 11 - Амортизация:

Объект	Норма в год	Стоимость	Величина в год	Кол-во часов	Сумма в час	Время работы, ч.	Стоимость амортизации
Персональный компьютер	20	40000	8000	1720	4,65	35	162,75
Принтер и МФУ	20	10000	2500	800	3,13	1	3,13
							165,88

5 Оценка ресурсоэффективности

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [14]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{9995,18}{20000} = 0,4998$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{15000}{20000} = 0,75$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{р}i} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где $I_{\text{р}i}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 12.

Таблица 12 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Удобство в эксплуатации	0,2	5	5
2. Точность вычислений	0,3	4	5
3. Используемый синтаксис	0,05	5	3
4. Легкость занесения данных	0,20	4	5
5. Легкость вывода решения	0,20	4	5
6. Время выполнения решения поставленной задачи	0,05	4	4
Итого	1		

$$I_{p-исн1} = 5*0,2 + 4*0,3 + 5*0,05 + 4*0,2 + 4*0,2 + 4*0,05 = 4,25,$$

$$I_{p-исн2} = 5*0,2 + 5*0,3 + 3*0,05 + 5*0,2 + 5*0,2 + 4*0,05 = 4,85.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исн.}$)

$$I_{исн.1} = \frac{I_{p-исн1}}{I_{финр}} = \frac{4,25}{0,4988} = 8,5$$

$$I_{исн.2} = \frac{I_{p-исн2}}{I_{финр}} = \frac{4,85}{0,75} = 6,47$$

С целью определения наиболее целесообразного варианта из предложенных сравним интегральные показатели эффективности вариантов исполнения разработки и определим сравнительную эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исн.1}}{I_{исн.2}} = \frac{8,52}{6,47} = 1,32$$

Сравнительная эффективность разработки представлена в таблице 13.

Таблица 13 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,4988	0,75
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	8,52	6,47
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,32	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является выполнение работы по первому исполнению.

По окончании анализа финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования: продукт является высокотехнологичной продукцией, востребованной в сфере промышленности, не имея при этом существенных конкурентов.

Также определены возможные альтернативы проведения научного исследования: с помощью сравнительного анализа и экспертных оценок было проведено сравнение различных программных продуктов по ряду признаков (распространенность продукта, простота написания кода, актуальность программы, размер программного кода, простота проверки ошибок) и установлено, что наиболее подходящим для рассматриваемого исследования является среда программирования MatLab.

Проведена оценка объема необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека: руководитель и студент. Все мероприятия

займут 45 дней и будут проводиться с 1 апреля до 19 мая при запланированной производительности.

Проведено определение социальной, ресурсной (ресурсосберегающей), бюджетной, финансовой и экономической эффективности разработки: были определены интегральные показатели для различных вариантов исполнения проекта и, с целью определения наиболее целесообразного варианта, определена сравнительная эффективность проекта. При сравнении данных параметров было установлено, что первое исполнение является более эффективным с позиции финансовой и ресурсной эффективности.