

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Электронного образования  
Специальность Оборудование и технологии сварочного производства  
Кафедра Оборудования и технологии сварочного производства

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Анализ свариваемости слоистых композитов на основе сплавов железа и алюминия УДК 621.791:620-22-419:8.

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В22	Федин Е.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крекулева Р.А.	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Баннова К.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сопруненко Э.Е.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.С.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт дистанционного образования  
 Направление подготовки (специальность) оборудование и технология сварочного производства  
 Кафедра Оборудования и технологии сварочного производства

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой ОТСП  
 \_\_\_\_\_ «» 2017 Киселев А.С.

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврская работа (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
3-1В22	Федин Евгений Александрович

Тема работы:

Анализ свариваемости слоистых композитов на основе сплавов железа и алюминия	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.04.2017, № 2789/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2017
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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></p>	<p>Образцы стали 12Х18Н10Т, 08ПС и сплава алюминия АМг6, АМцМ после сварки в электронно-лучевой установке.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы.</li> <li>2. Постановка задачи - цели и методы исследования.</li> <li>3. Анализ теплофизических процессов при формировании сварного соединения в слоистых композитах (Ст-А1-Ст-А1).</li> <li>4. Выполнение экспериментальных исследований. Результаты и выводы.</li> <li>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>6. Социальная ответственность.</li> <li>7. Заключение.</li> </ol>
<p><i>содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Титульный лист (название работы) 2. Цель и задачи исследования 3. Материалы и методы исследования 4. Натурные эксперименты. 5. Микроструктура. 6. Результаты и выводы. 7. Экономическая часть и социальная ответственность. 8. Заключение.
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
1. Литературный обзор. 2. Материалы, оборудование и методы исследования. 3. Экспериментальная часть. 4. Выводы.	Кректулева Раиса Алексеевна
5 Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение.	Баннова Кристина Алексеевна
6 Социальная ответственность.	Сопруненко Элина Евгеньевна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	30.01.2017
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кректулева Р.А.	к.ф.-м.н.		30.01.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В22	Федин Е.А.		30.01.2017

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	Ф.И.О.
3-1В22	Федин Е..А.

Институт	Электронного обучения	Кафедра	Оборудования и технологии сварочного производства
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01. «Машиностроение»

Тема выпускной квалификационной работы: "Анализ свариваемости слоистых композитов на основе сплавов железа и алюминия."

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Целью данного раздела – выявление и предупреждение всех возможных опасных и вредных для здоровья человека факторов, которые могут возникнуть при работе на сварочном производстве.

Анализ сварочного производства:

- а) приводится перечень всех используемых в работе газов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека; приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;
- приводятся правила охраны труда и техники безопасности;
- б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений;
- в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;
- приводятся правила обращения с баллонами для сжатых и сжиженных газов.

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:

- а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;
- б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет), маркировка; пожаро-взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).

2. Охрана окружающей среды:  
 Организация безотходного производства (приводится перечень отходов, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).

3. Защита в чрезвычайных ситуациях:  
 – приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия;  
 – разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;  
 – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;  
 разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:  
 – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе).

Перечень графического материала:  
 Отсутствует

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику:</b>	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ.	Сопруненко Э.Е.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	Ф.И.О.	Подпись	Дата
3-1В22	Федин Е.А.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-1В22	Федин Евгений Александрович

<b>Институт</b>	Электронного обучения	<b>Кафедра</b>	ОТСП
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	ОТСП

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ)</i>	<i>Стоимость применяемого оборудования для проведения эксперимента, заработная плата с учетом районного коэффициента, стоимость электроэнергии</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	...
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления от заработной платы по единому социальному налогу 30%</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Экономическая целесообразность применения научного исследования</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Планирование комплекса работ по выбранной теме</i>
3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	...
4. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Привести затраты на приобретение оборудования и материалов</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Рассчитать трудозатраты, энергозатраты, затраты на материалы, амортизацию оборудования</i>

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

1. «Портрет» потребителя
2. Оценка конкурентоспособности ИР
3. Матрица SWOT
4. Модель Кано
5. ФСА диаграмма
6. Оценка перспективности нового продукта
7. График разработки и внедрения ИР
8. Инвестиционный план. Бюджет ИП
9. Основные показатели эффективности ИП
10. Риски ИП

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Баннова К.А.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-1В22	Федин Е.А.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного Образования \_\_\_\_\_  
 Направление подготовки 150202 Оборудование и технологии сварочного производства  
 Уровень образования Высшее  
 Кафедра Оборудование и технологии сварочного производства  
 Период выполнения (весенний семестр 2017 учебного года) \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.04.2017	1 Литературный обзор	25
14.04.2017	2 Материалы, оборудование и методы исследования	5
02.05.2017	3 Экспериментальная часть	35
16.05.2017	4 Выводы	10
	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	6 Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крекутулева Р.А.	к.ф.-м.н.		30.01.2017

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.С.	к.т.н.		30.01.2017

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 112 страниц, 25 таблиц, 85 рисунков.

Ключевые слова: САПР, численное моделирование, CAD/CAE/CAM, слоистые материалы, электронно-лучевая сварка стали с алюминием, интерметаллиды.

Объектом исследования является: Изучение особенностей свариваемости слоистых материалов на основе сплавов железа и алюминия (сталь 12Х18Н10Т, сталь 08ПС, АМг6, АМцМ).

Цель работы: численно-экспериментальный метод поиска режимов ЭЛС композиционных материалов, обеспечивающих качественное сварное соединение.

В процессе исследования проводились: численное моделирование сварки стали с алюминием в программной среде «МЕЗА». Натурные эксперименты на установке "ТЭТА 450".

Степень внедрения: на данный момент вопрос изучения сварки стали с алюминием не вышел за пределы лабораторных исследований.

Область применения: повышение эффективности использования оборудования в производстве. Результаты этой работы могут быть использованы для дальнейших лабораторных исследований сварки стали с алюминием.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается: в применении методов CAD/CAE /CAM проектирования для существенного сокращения временных и материальных затрат на опытно-конструкторскую подготовку технологий сварки новых композиционных материалов, в замене дорогостоящих материалов более дешевыми, созданных на основе композитов.



## **Abstract**

Final qualifying work: 112 pages, 25 tables, 85 figures.

Keywords: CAD/CAE/CAM, numerical modelling, intermetallic compounds, composite materials, steel aluminum Electron beam welding .

The object of the study is: The study of laminates weldability on the basis of iron and aluminum alloys (steel 12X18H10T steel 08ps, AMg6 AMtsM).

Objective – numerical-experimental method of searching for ELS modes of composite materials providing a quality welded joint.

In the course of the research, numerical modeling of welding steel with aluminum in the "MEZA" software environment was carried out. Natural experiments on the "TETA 450".

Degree of implementation: At the moment, the issue of studying the welding of steel with aluminum has not gone beyond the limits of laboratory research.

Scope: increase the efficiency of the use of equipment in production. The results of this work can be used for further laboratory studies of welding steel with aluminum.

The economic efficiency / significance of the work is: in the application of CAD / CAE / CAM design methods to significantly reduce the time and material costs for the development of welding technologies for new composite materials, in replacing costly materials with cheaper ones created on the basis of composites.

## Оглавление

Введение	11
1 Обзор литературы	14
2 Постановка задачи - цели и методы исследования	20
2.1 Проектирование слоистых композиционных материалов заданной геометрии методами "Систем автоматизированного проектирования технологических процессов"(САПР ТП)	20
2.1.1 САД проектирование исследуемых образцов	21
Рисунок 2.2 - Установка нужных размеров образца	23
2.1.2 САЕ проектирование процесса сварки	25
2.1.3 Анализ расчетных данных	30
2.2 Методика проведения экспериментальных исследований	31
2.2.1 Подготовка образцов	31
2.2.2 Оборудование для проведения экспериментов	32
2.2.3 Описание методики проведения экспериментов	34
2.3 Методы исследования в работах других авторов	35
3 Анализ теплофизических процессов при формировании сварного соединения в слоистых композитах (Ст-Al-Ст-Al)	37
3.1 Результаты численного анализа по (ПО) "MEZA"	38
3.2 Термодеформационные процессы при остывании сварочного соединения многослойных композитов	47
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
6 Социальная ответственность	71
Заключение	86
Список использованных источников	88

## Введение

В настоящее время стала актуальна потребность в слоистых композиционных материалах на основе алюминия и стали в разных областях производства. Современное машиностроение остро нуждается в получении качественных сварных соединений таких разнородных материалов. Подобные задачи особенно актуальны в автомобильной, авиационной и космической промышленности (сварка корпусных конструкций, сварка трубопроводов). Использование в конструкциях разнородных материалов позволяет решить различные конструктивно-технологические задачи, в том числе повысить ресурс, износостойкость и сопротивляемость агрессивным средам. Исследования таких композитных материалов необходимы, так как многие полезные ископаемые на исходе, а рудные запасы железа и алюминия самые распространенные в земной коре. Благодаря разным свойствам этих металлов можно получить композиты, различные по свойствам и характеристикам в создаваемых конструкциях, изучение и применение которых необходимо в производстве.

Задача сварки сталей с алюминиевыми сплавами достаточно сложна технологически. Это связано с металлургическими особенностями формирования швов таких соединений при сварке плавлением. Проблема сварки композитов железа и алюминия заключается в подборе режимов: в большинстве случаев получаются либо рыхлые сварные соединения, либо хрупкие интерметаллиды, приводят к хрупкости сварного шва. Сочетание разнородных металлов имеют ограниченную взаимную растворимость.

Существует несколько известных видов сварки Fe и Al : аргодуговая неплавящимся электродом, сварка давлением, диффузионная сварка, сварка с использованием промежуточного третьего металла и сварка взрывом. Применение этих способов в большинстве случаев не дает нужных результатов,

а сварка электронным лучом остается мало изученной и не применяемой в производстве.

В тоже время электронно-лучевая сварка (ЭЛС), за счет значительно более точного управления параметрами теплового источника в зоне сварки, может обладать очевидным преимуществом для сварки разнородных материалов. Использование высокотехнологичной сварки электронным лучом алюминиевых сплавов позволяет избежать образования оксидной пленки  $Al_2O_3$ , которая является частым дефектом при сварке плавлением. Главная особенность ЭЛС - высокие скорости, что может позволить избежать образования прослойки интерметаллидов и образования обширной области зоны термического влияния (ЗТВ) в материалах с высокой теплопроводностью.

Сварка тонколистовой стали характеризуется своей спецификой, которая связана с перегревом металла и с возможностью полного проплавления свариваемого металла. Существует два подхода сварки композитов на основе железа и алюминия:

Первый подход: помощью термодинамических расчетов можно подобрать материал сварки между железом и алюминием. Обычно используется прием по добавлению третьего металла, для каждого типа конструкций переход подбирается индивидуально [1].

Второй подход: Создать компьютерную модель формирования сварного соединения при тех или иных режимах сварки и из расчетов выбрать наиболее подходящий вариант, который потом реализовать на практике [2].

В данной работе использовался второй подход. Расчетный метод дал нам понимание того, что происходит при ЭЛС в зоне сварного шва и в зоне термического влияния [3,4].

На расчетных режимах были проведены эксперименты, которые с одной стороны, подтвердили правильность расчетов, а с другой – дали дополнительную информацию о протекающих процессах. Полученные результаты позволили уточнить теоретические представления о происходящих физических процессах при электронно-лучевой сварке.

Существующие методы САПР позволяют учесть все стадии получения сварного соединения, используя математическое моделирование. С этой целью была проведена серия компьютерных экспериментов с использованием программного обеспечения «Meza». По результатам компьютерных расчетов и проведенных экспериментов сделаны выводы о свариваемости многослойных сталь-алюминиевых композиционных материалов при электронно-лучевых технологиях сварки.

## 1 Обзор литературы

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии и обладает широкими технологическими возможностями, позволяя соединять за один проход металлы и сплавы толщиной от 0,1 мм до 400 мм. ЭЛС в вакуумных камерах выполняется преимущественно при давлении остаточных газов порядка 10-2 Па. Благодаря этому ЭЛС оказалась эффективной для соединения деталей из любых металлических материалов особенно сплавов на основе химически активных металлов, таких как алюминий, титан и тугоплавкие элементы. При этом обеспечиваются максимальная пластичность и вязкость сварных соединений. Наиболее перспективным является соединение деталей из термически упрочненных материалов, когда затруднена или не возможна последующая термообработка. Максимальная пластичность и вязкость сварных соединений, минимальные сварочные деформации позволяют также успешно использовать ЭЛС при изготовлении изделий после завершающей механической обработки [5].

С середины прошлого века ученые из разных стран занимаются исследованиями закономерностей, механизмов образования парогазового канала и сопутствующими процессами при ЭЛС, без знания которых затруднительно использование электронного луча (ЭЛ) при соединении материалов. Большой вклад в изучение процессов, протекающих при ЭЛС, внесли такие советские и российские исследователи как, Рыкалин Н. Н., Зуев И. В., Углов А. А., Назаренко О. К., Кайдалов А. А., Башенко В. В., Миткевич Е. А., Лесков Г. И., Мелюков В.В., Нестеренков В. М., Туричин Г.А, Судник В.А., Ерофеев В.А., Браверман В.Я., Драгунов В.К., Язовских В. М., Беленький В. Я., А. Каплан, а так же зарубежные исследователи – Р. Рай, Т. Деброй, Ч. Ванг, Р. Зенкер и др [6].

Применение методологии САПР к поиску нужных режимов сварки подробно отображено в работах Климовой О.Г., Туричина Г.А., Лопоты В.А.,

Шамшурина А.И., Сизовой И.А. и Саломатовой Е.С., Трушниковой Д.Н., Цаплин А.И. [7] и [8], а так же в работах Кректулевой Р.А., Черепанова О.И., Черепанова Р.О. [3].

Электронно-лучевые сварочные установки состоят из двух основных комплексов - энергетического и электромеханического.

Энергетический комплекс предназначен для формирования пучка электронов с заданными параметрами, которые определяются толщиной, теплофизическими характеристиками свариваемых материалов и требованиями к коэффициенту формы проплавления.

Электромеханический комплекс предназначен для герметизации и вакуумирования рабочего объема, обеспечения взаимного перемещения электронного луча и свариваемого изделия и управления всеми этими процессами. Этот эффективный способ основан на использовании кинетической энергии электронов, движущихся с большой скоростью в вакууме. Пучок электронов, эмитированный раскаленным катодом, ускоряется в вакууме напряжением (при  $U_{\text{уск}}$ ) до 100 кВ и более. При изменении  $U_{\text{уск}}$  от 30 до 200 кВ скорость электронов изменяется от 0,33 до 0,67 скорости света. Кинетическая энергия электронов при торможении внутри металла (анода) вблизи его поверхности превращается в тепловую, расходуемую на плавление свариваемых кромок и образование в жидком металле углубления (канала) на всю толщину свариваемого металла.

Этот процесс характеризуется высоким КПД, достигающим 90%. Источник нагрева в виде пучка электронов сосредоточен на малом пятне диаметром в десятые и даже сотые доли миллиметра. При мощности пучка в десятки киловатт плотность энергии в нем превышает плотность энергии электрической сварочной дуги на два–пять порядков (от  $10^5$  до  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>). Такая концентрация энергии, достигаемая при специальной фокусировке пучка в сварочных электронных пушках, делает возможным сварку с недостижимым для электродуговых методов отношением глубины к ширине проплавления (до 50 : 1).

Погонная энергия при ЭЛС не превышает 20% от аналогичного показателя при дуговой сварке. Узкий шов, параллельность его границ и малая протяженность ЗТВ обуславливают незначительные линейные и угловые деформации свариваемых изделий.

Практически отсутствие коробления является выдающимся критерием электронно-лучевой сварки. Это позволяет применять более простые сборочно-сварочные приспособления, не требует больших усилий зажатия соединяемых деталей а также последующей механической обработки. Погонная энергия, поперечная усадка и угловые деформации при ЭЛС лежат существенно ниже показателей для лазерной сварки.[4]

Глубокое проплавление металла при низких значениях погонной энергии ЭЛС приводит к повышенной скорости кристаллизации малой по объему сварочной ванны, благодаря чему измельчается структура сварного шва. Размеры, конфигурация и качество формирования швов при ЭЛС определяются устойчивостью, формой и размерами парового канала сварочной ванны, которые в свою очередь зависят от мощности, эффективного радиуса, угла сходимости луча, положения фокального пятна луча, пространственного положения стыка, теплофизических свойств металла и скорости сварки.

Сварка электронным лучом имеет ряд весомых преимуществ, среди которых:

- Малое количество вводимой теплоты. В большинстве случаев для получения одинаковой глубины проплавления при сварке данного типа потребуется теплоты в 5 раз меньше, чем при дуговом виде, что значительно снижает коробление изделий;
- Возможность сварки керамики и тугоплавких металлов (тантала, вольфрама), керамики и т.д. С четкой фокусировкой луча становится возможным нагреть поверхность диаметром менее миллиметра. Это в свою очередь позволяет одновременно приваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра;



- Высокое качество сварных соединений химически активных металлов и сплавов: молибдена, титана, ниобия, циркония. Как правило, во многих случаях происходит дегазация металла шва и одновременно повышение его пластических характеристик. ЭЛС также незаменима при соединении низкоуглеродистых, коррозионно-стойких, медных, никелевых сталей, алюминиевых сплавов. Но несмотря на большее количество достоинств, ЭЛС имеет и минусы.

Недостатки электронно-лучевой сварки:

- Время затрата при создании вакуума в рабочей камере после загрузки изделий;
- Возможность образования несплавлений, полых отверстий в корне шва при сваривании металлов с большой теплопроводностью, а также швах с большим отношением глубины к ширине [5].

Применение ЭЛС оправдано, когда нужно проводить работы в труднодоступных и неудобных местах. Сварка данной разновидности универсальна и экономична. Универсальность этой сварки выражена тем, что посредством нее соединяют изделия как с любой разделкой кромки, так и без разделки. Экономичность же заключается в сравнительно малом потреблении электричества. Сегодня на отечественных предприятиях применяется электронно-лучевое оборудование с пушками прямого и косвенного накала катодов собственного производства, российских и зарубежных фирм.

В установках с внутрикамерным расположением лучевых пушек есть возможность сварки соединений горизонтальным либо наклонным лучом по сложным траекториям движения. Точная механика в сочетании с компьютерными технологиями и системами управления устраняют зависимость качества итоговых соединений от человеческого фактора, то есть присутствие оператора-сварщика практически исключается, так как процесс происходит почти автоматизировано. Сварочное оборудование несложно в эксплуатации и его обслуживание не подразумевает затрат трудовых ресурсов. Запрограммировав установку, нужно лишь следить за тем, как луч наводится в

нужное место и следует вдоль стыка. От рабочего персонала потребуются только изменять мощность луча и регулировать фокусировку на конкретном отрезке траектории стыка. В целом, электронно-лучевая сварка – это рациональное и перспективное направление в развитии современных технологий сварки.

Схема электронно-лучевой установки.

Электронно-лучевая обработка основана на превращении кинетической энергии направленного пучка электронов в тепловую. Высокая плотность энергии сфокусированного электронного луча позволяет обрабатывать заготовки за счет нагрева, расплавления и испарения материала с узлокального участка.

Схема установки для электронно-лучевой обработки (электронная пушка) показана на (рисунке 1).

В вакуумной камере 1 установки 9 вольфрамовый катод 11, питаемый от источника в тока, обеспечивает эмиссию свободных электронов. Электроны формируются в пучок специальным электродом и под действием электрического поля, создаваемого высокой разностью потенциалов между катодом 11 и анодом 10, ускоряются в осевом направлении. Луч электронов проходит систему юстировки 9, диафрагму 8, корректор изображения 7 и систему магнитных линз 6, которые окончательно формируют поток электронов в луч малого диаметра и фокусируют его на поверхности заготовки 4, закрепленной в приспособлении 3 на столе 2. Луч по поверхности заготовки перемещается отклоняющей системой 5, которая может управляться системой числового программного управления (ЧПУ).

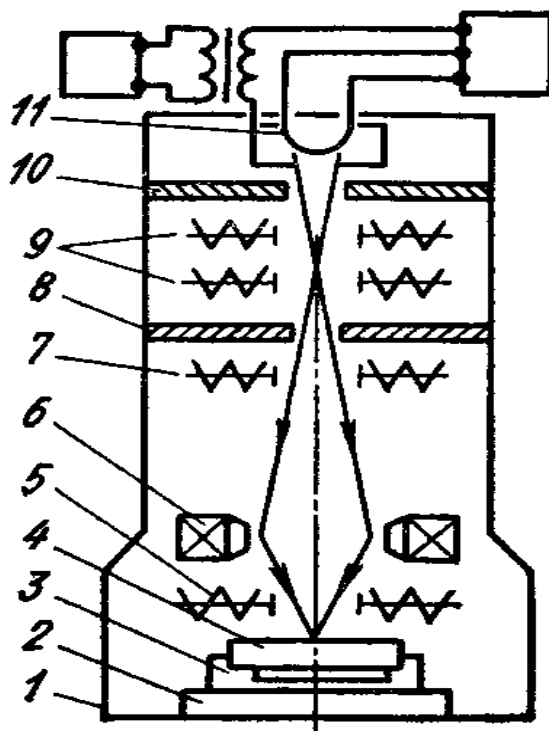


Рисунок 1.1 - Схема установки для электронно-лучевой обработки  
(электронная пушка)

## **2 Постановка задачи - цели и методы исследования**

Основной задачей настоящей выпускной квалификационной работы (ВКР) является подбор рациональных режимов для ЭЛС слоистых материалов на основе сплавов железа и алюминия, анализ проблем свариваемости и способы их устранения. В данной работе был применен компьютерный анализ с использованием (ПО)"МЕЗА" для расчета режимов сварки, а так же другие численные методы для оценки остаточных напряжений в зоне сварного шва и ЗТВ [3].

По результатам проведенных исследований были выполнены натурные эксперименты на электронно-лучевой установке, которые подтвердили правильность расчетов.

### **2.1 Проектирование слоистых композиционных материалов заданной геометрии методами "Систем автоматизированного проектирования технологических процессов"(САПР ТП)**

Композиционным материалом или композитом называют гетерогенную систему, состоящую из сильно различающихся по свойствам, взаимно нерастворимых друг в друге компонентов. Композиционные материалы состоят из относительно пластичной фазы - матрицы или основы и более твердых компонентов, являющихся наполнителями. Слоистые композиционные материалы состоят из чередующихся слоев наполнителя и матричного материала. Часто такую конструкцию называю сэндвич. Возможно поочередное использование слоев наполнителя с разными механическими свойствами. Во многих работах используются 2х, 3хслойные композиты [2], [5], [6].

В данном разделе ВКР рассматривается проектирование слоистых материалов, включая 4-хслойный композит, состоящий из стали и алюминия с

чередованием слоев (Ст-Al-Ст-Al) и (Al-Ст-Al-Ст). На рисунке 2.1 в геометрии выделены чередующиеся слои.

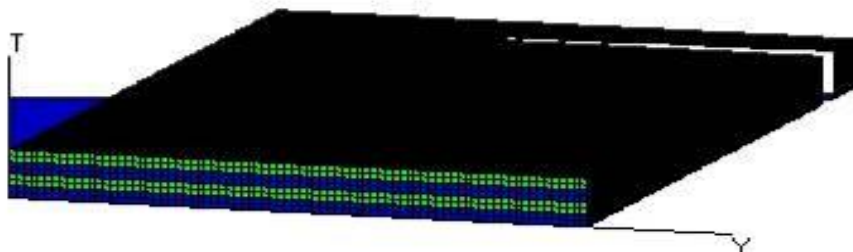


Рисунок 2.1 – Чередующиеся слои композита

Для проектирования слоистых материалов и выборе режимов их сварки использовалось ПО "Meza"[9].

### 2.1.1 CAD проектирование исследуемых образцов

Программа "MEZA" предназначена для расчета различных тепловых задач, с различными функциями внешних воздействий. Расчет ведется при помощи явной разностной схемы. Программа "MEZA" используется в Томском политехническом университете на кафедре оборудования и технологии сварочного производства для научных исследований в образовательной деятельности [9].

Настройка программы на работу осуществляется следующим образом (если не производить настройку программы и ее параметров то при запуске будет производиться счет с параметрами, установленными по умолчанию).

1. Производится выбор размеров образца, пространственного шага решетки, выбор материала атмосферы и основного материала, а также материалов включений.

2. Заполнение образца соответствующими материалами и пространственное конфигурирование включений.

3. Производится (если нужно) соответствующая корректировка и просмотр параметров выбранных материалов.

4. Подключение соответствующего источника внешних воздействий.

5. Настройка параметров источника.

6. Установка контрольных точек в образце.

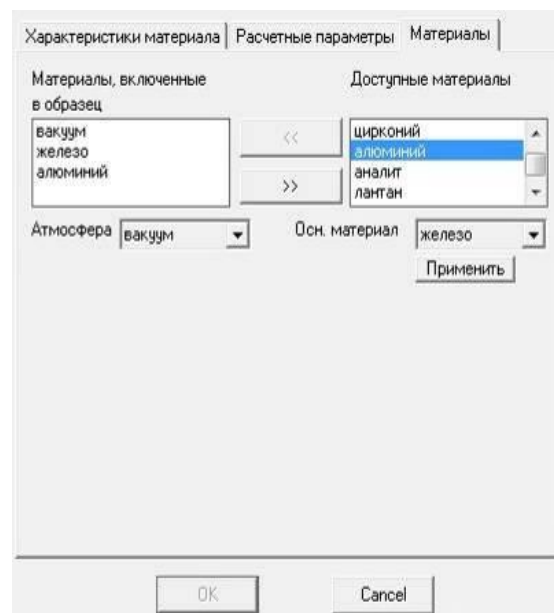
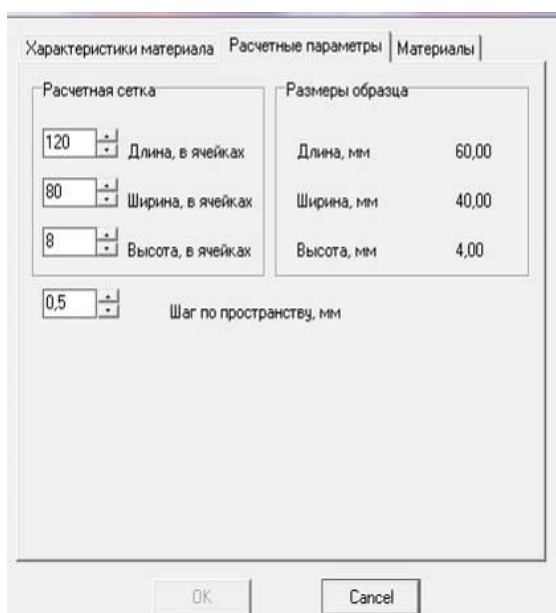
7. запуск программы на счет.

Выбор размеров образца.

Для того чтобы установить нужные размеры образца нужно выбрать подпункт меню Опции\Параметры\Модели.

На экране появится окно параметров модели с тремя вкладками: "Характеристики материала", "Расчетные параметры", "Материалы". Выбираем вкладку "Расчетные параметры" рисунок 2.2 и с помощью управляющих кнопок устанавливаем нужные размеры расчетной сетки и пространственный шаг. При этом в левом верхнем поле окна отображаются размеры образца в ячейках решетки, а в правом поле в миллиметрах. Установив нужные параметры образца приступаем к выбору материалов.

В работе исследуем железо и алюминий, среда - вакуум. В программе заложены характеристики применяемых материалов.



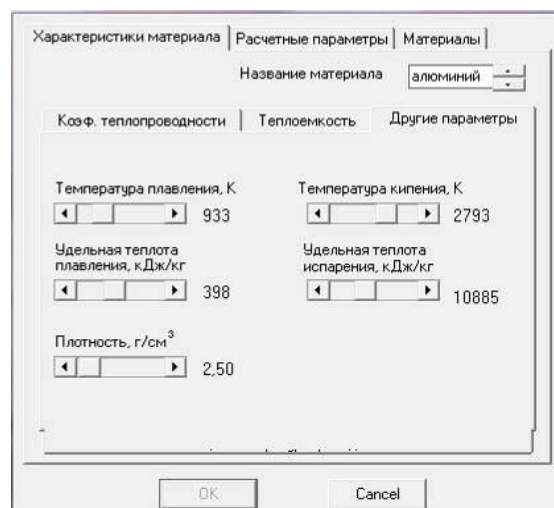
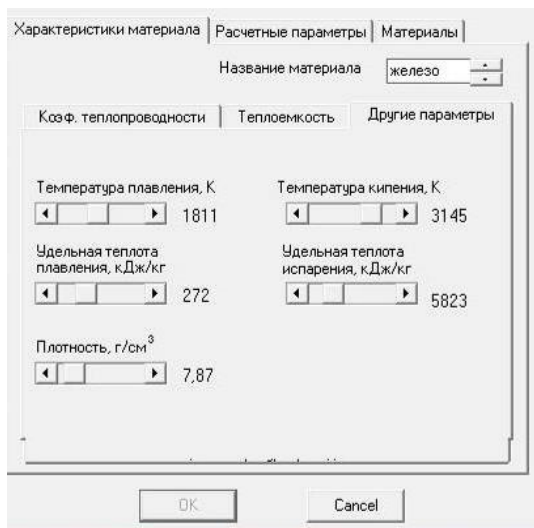


Рисунок 2.2 - Установка нужных размеров образца

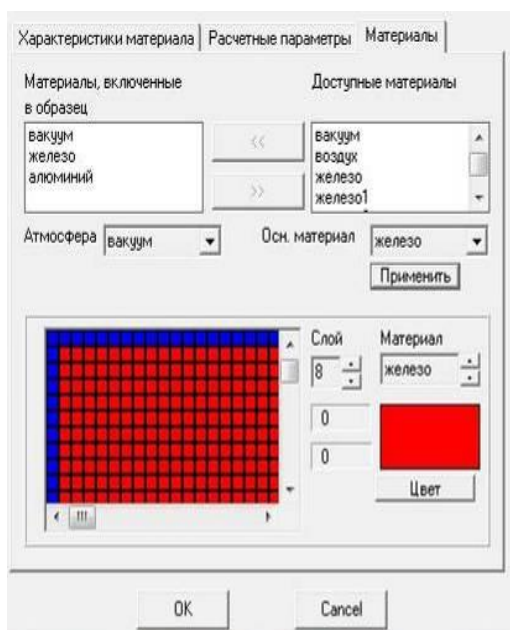
Заполнение образца.

Выполняем действия, описанные в Пункте «Материалы». При нажатии на кнопку в нижней части окна параметров модели появится поле редактора образца, с помощью которого можно нужным образом сконфигурировать образец. (Рисунок 2.3).

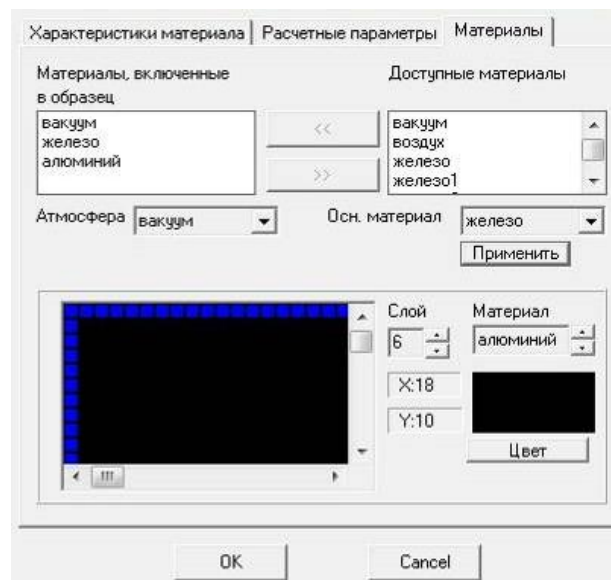
В правом верхнем углу редактора находится поле "Материал", содержимым которого является текущий материал. С помощью кнопки прокрутки выбираем необходимый материал. Если этот материал не является материалом атмосферы или основным материалом то цвет, которым он будет отображаться черным. Для смены цвета нажимаем на соответствующую кнопку, и в появившемся окне выбираем нужный цвет материала, выбор подтверждаем кнопкой «Ок». При этом окошечко под полем "Материал" окрасится в соответствующий цвет.

С помощью поля "Слой" устанавливаем нужный по глубине слой образца. Теперь подводим курсор к нужной ячейке (координаты ячеек отображаются) и нажимаем левую кнопку мыши. Не отпуская кнопки, ведем курсор до нужной ячейки. Линиями цвета выбранного материала в окне редактора строится прямоугольник, который заполнится текущим материалом

при отпускании кнопки мыши. Таким образом, устанавливаем включения из нужных материалов на всех слоях. При нажатии на кнопку «Ок» программа построит соответствующий образец.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Конфигурирование образца: а) железный участок образца, б) алюминиевый участок.



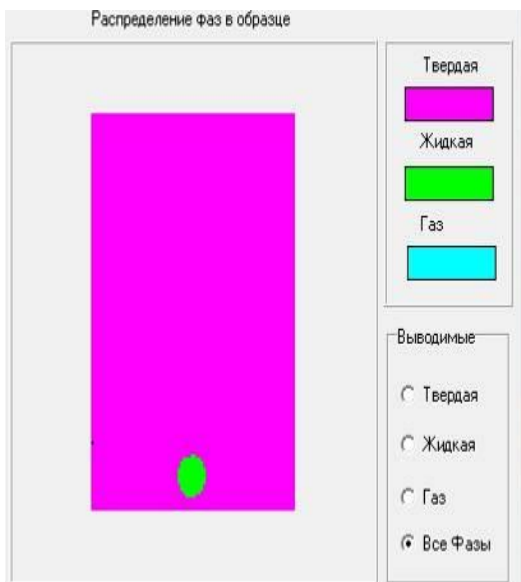
## 2.1.2 САЕ проектирование процесса сварки

Следующий шаг - подключение источника сварки (рисунок 2.4). Выбрать необходимый источник и нажать кнопку "Инфо". Программа выведет короткую справку о библиотеке источника. Затем кнопку "Подключить".

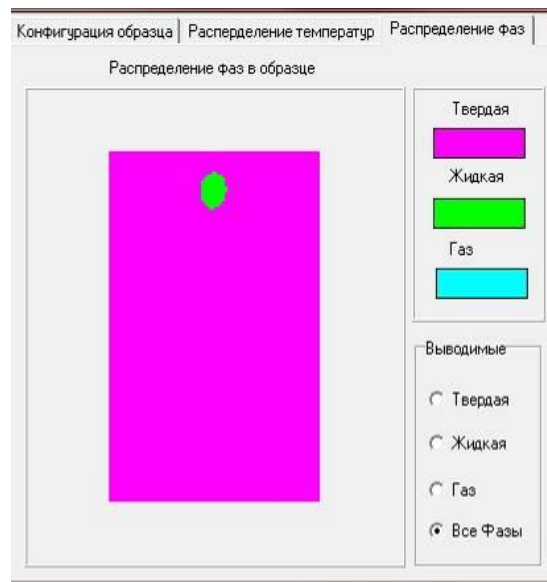


Рисунок 2.4 - Подключение источника сварки

Программа Meza включает также инструменты просмотра изотерм в любом сечении образца, перпендикулярном одной из осей координат, фазового состава (кристаллическое строение, жидкая и газовая фазы, межфазные (переходные) состояния) и температуры в любой точке образца. Таким образом, все процессы, происходящие при сварке образца можно отслеживать и фиксировать от начала и до конца. (Рисунки 2.5 - 2.6)

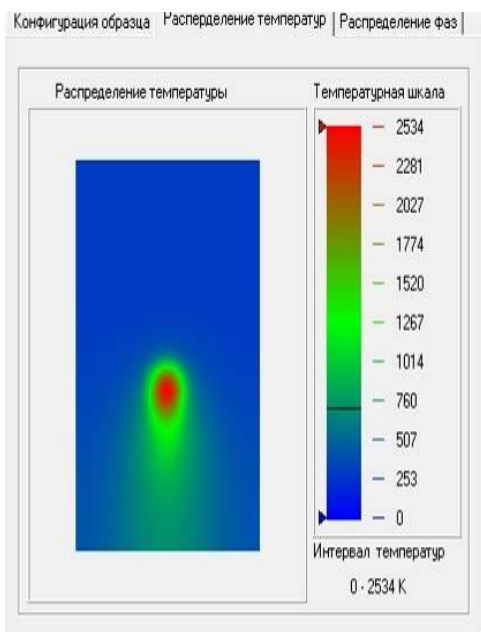


а)

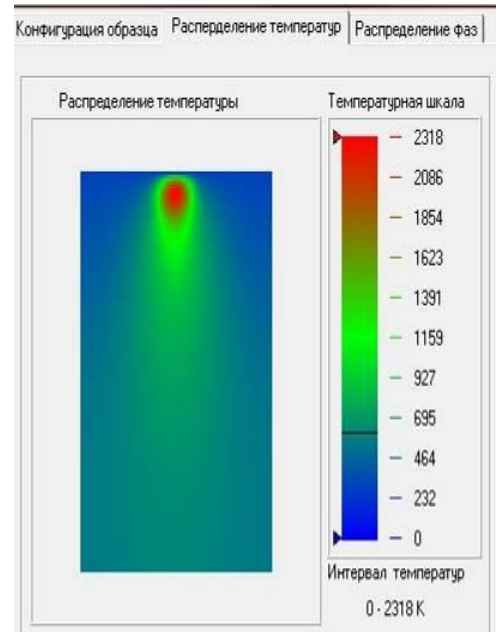


б)

Рисунок 2.5 - Распределение твердой, жидкой и газовой фаз в процессе нагрева: в начале процесса, в завершении



а)



б)

Рисунок 2.6 - Распределение температуры: а) в начале процесса, б) в завершении

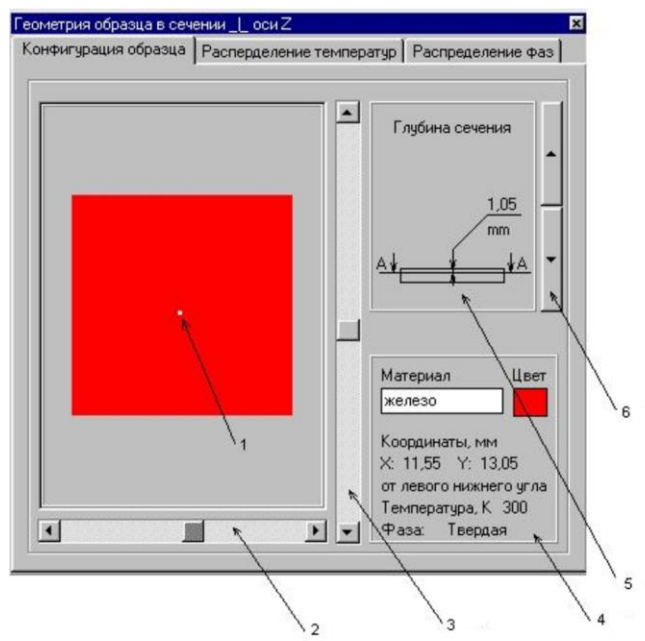


Рисунок 2.7 - Геометрия образца в сечении

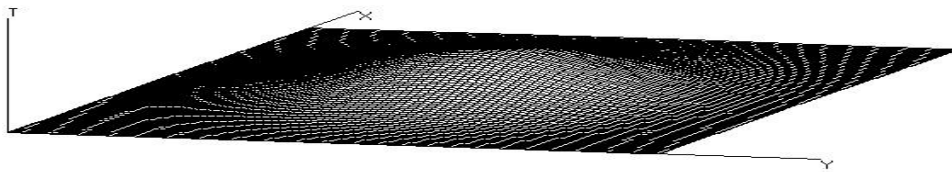
Вид окна сечения, перпендикулярного оси  $Z$  (1 – указатель на контрольную точку; 2 – линейка перемещения указателя по оси  $Y$ ; 3 – линейка перемещения указателя по оси  $X$ ; 4 – информация о текущей точке; 5 – положение сечения в образце; 6 – кнопки для перемещения сечения по оси  $Z$ ).

Трехмерные графики и изображения.

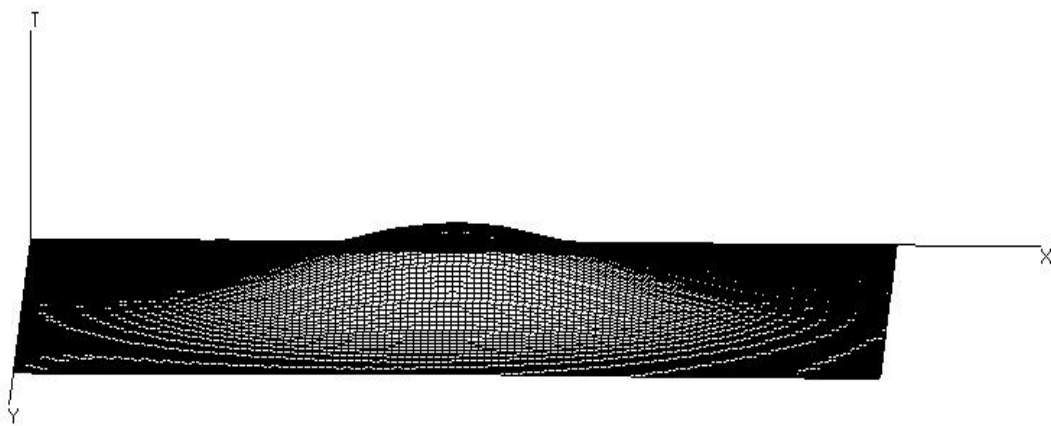
Существенным преимуществом этой программы является возможность построение трехмерных графиков и изображений в ходе процесса вычислений, без применения специализированных программ. В меню "Просмотр" предусмотрено три подпункта:

1. "Температура поверхности" (Рисунок 2.8 а,б,в).
2. "Изотерма в объеме" ( Рисунок 2.9 а,б).
3. "Конфигурация поверхности" (Рисунок 2.10).

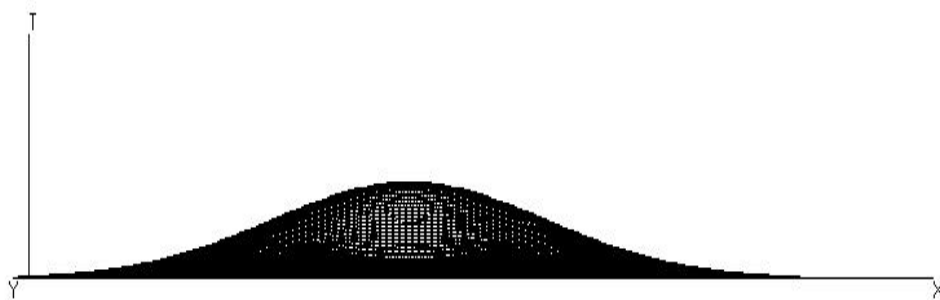
Управление ориентацией трехмерных объектов ведется при помощи кнопок (с красными стрелками), расположенных на главном окне программы. (Рисунок 2.11).



(a)

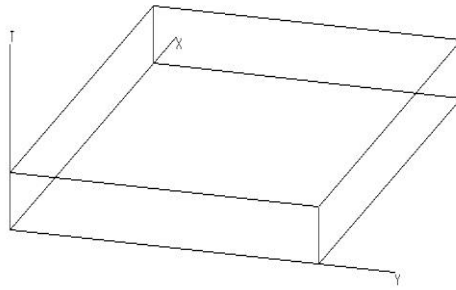


(б)

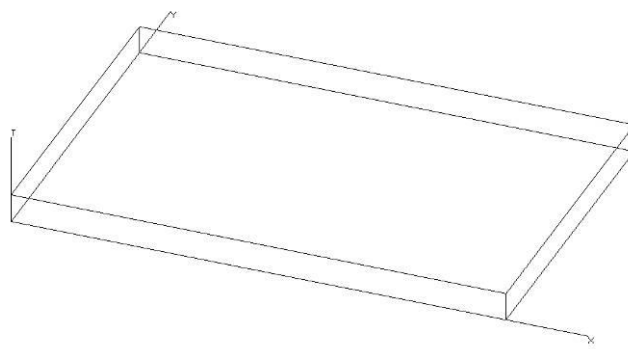


(в)

Рисунок 2.8 а,б,в - Температура поверхности



(a)



(б)

Рисунок 2.9 а,б – Изотерма в объеме

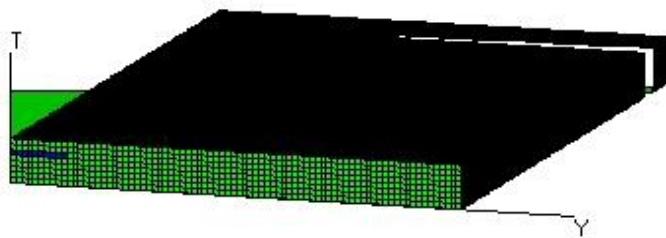


Рисунок 2.10 – Конфигурация поверхности

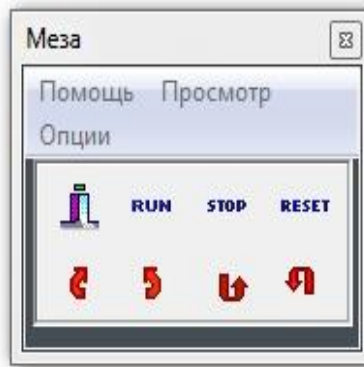
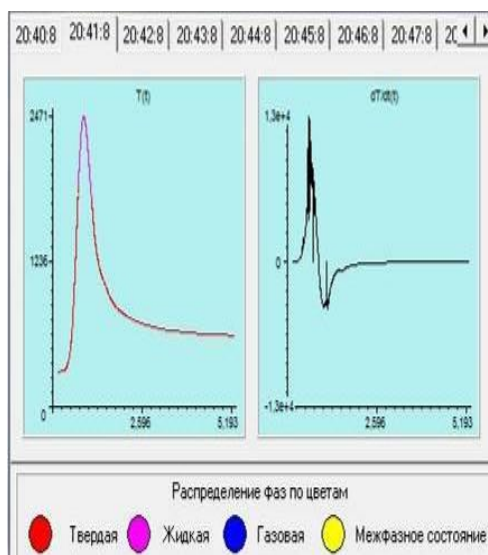


Рисунок 2.11 - Управление ориентацией трехмерных объектов

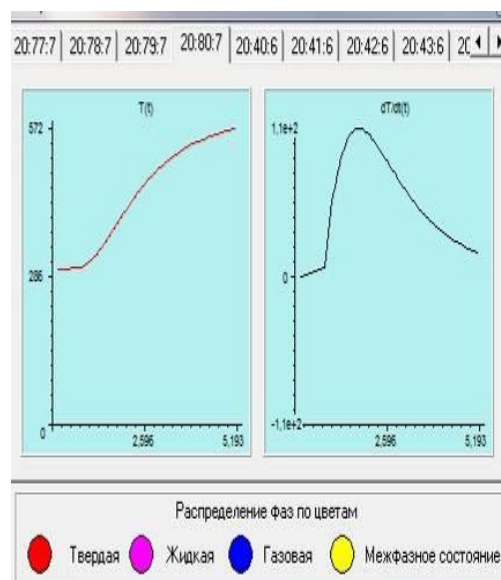
### 2.1.3 Анализ расчетных данных

Программа "Meza" позволяет выставить виртуальные датчики по всему объему спроектированных образцов. Поскольку интерес представляет только сварной шов и зона термического влияния (ЗТВ), то в этих областях и происходит отслеживание процесса сварки. Это выполняется путем размещения виртуальных датчиков в определенных контрольных точках. Рисунок 2.12.

Контрольные точки предназначены для накапливания в себе статистических данных процессов протекающих в них: изменение температуры во времени процесса, фазовые переходы, изменение скорости роста температуры. С их помощью выстраивается структурный график послойного проплавления образца.



а)



б)

Рисунок 2.12- График температуры в точках: а) в центре сварного шва, б) у края ЗТВ

## 2.2 Методика проведения экспериментальных исследований

Многие научные работы по ЭЛС основаны на исследовании свариваемости двухслойных композитов, реже трехслойных. [2], [5], [6]. В данной работе представлены четырехслойные образцы. Задача исследования - проанализировать свариваемость 4х-слойных композиционных материалов на основе Fe и Al при разных режимах и параметрах сварки на электронно-лучевой установке "ТЭТА 450" в вакууме.

### 2.2.1 Подготовка образцов

Для проведения экспериментов были приготовлены пластины из стали 12X18H10T, стали 08ПС и сплавы алюминия марки АМг6 и АМцМ. Химический состав материалов приведен в таблицах № (2.1.- 2.4.). Все образцы были нарублены на гильотине с размерами 60x40x1мм, затем отрихтованы под прессом. Непосредственно перед сваркой образцы были зачищены и

обезжирены, после собраны в пакеты по 4 пластины с чередованием (Ст-Аl-Ст-Аl). Часть образцов были склепаны по углам.

Таблица 2. 1 - Химический состав в % стали 12Х18Н10Т

Si	Cu	Mn	Ni	Ti	P	Cr	S
0.8	0.30	2.0	9.0-11.0	0.6-0.8	0.035	17.0-19.0	0.020

Таблица 2.2-Химический состав в % стали 08пс

Si	Mn	Cu	As	Ni	S	C	P	Cr
0,05–0,17	0.35–0.65	0.3	0.08	0.3	0.4	0.05–0.11	0.035	0.1

Таблица 2.3 -Химический состав в % материала АМг6

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Be	Mg	Zn	Примесей
До 0.4	До 0,4	0,5-0,8	0.02-0,1	91,1-93,68	До 0,1	0,0002-0,0005	5,8-6,8	До 0.2	прочих 0,1

Таблица 2. 4 -Химический состав в % материала АМцМ

Fe	Si	Mn	Al	Cu	Zn	Примесей
до 0,7	до 0,6	1-1,5	96,35-99	0,05	до 0,1	Прочих 0,15

## 2.2.2 Оборудование для проведения экспериментов

Электронно-лучевая установка " ТЭТА 450" создана в томской компании ТЭТА, которая является разработчиком и производителем электронно-лучевого оборудования. Под брендом ТЭТА выступает группа предприятий, основанная в 2008г. Компания располагает собственной исследовательской и производственной базой для выполнения всего комплекса научных, опытно-конструкторских, технологических и производственных задач.

Характеристики установки:

- Мощность луча - 4 кВт.
- Ускоряющее напряжение - 20-30 кВ.
- Размеры вакуумной камеры - 450x450x450 мм.



- Рабочий вакуум -  $5 \times 10^{-3}$  Па.
- Время откачки - 20 мин.
- Перемещение манипулятора - 400/250/200 мм.
- Скорость перемещения - 0-30 мм/Сек.
- Точность позиционирования - 10 мкм.
- Диаметр планшайбы - 150мм.
- Наклон планшайбы - 0-90°.
- Скорость вращения - 0,1-30 Об/Мин.

Установка состоит из вакуумной камеры с электронной пушкой и стенда управления откачки камеры(Рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 - Электронная пушка и стенд управления откачки камеры  
Внутри камеры находится манипулятор перемещения с установленной планшайбой и дополнительными приспособлениями (Рисунок 2.14).

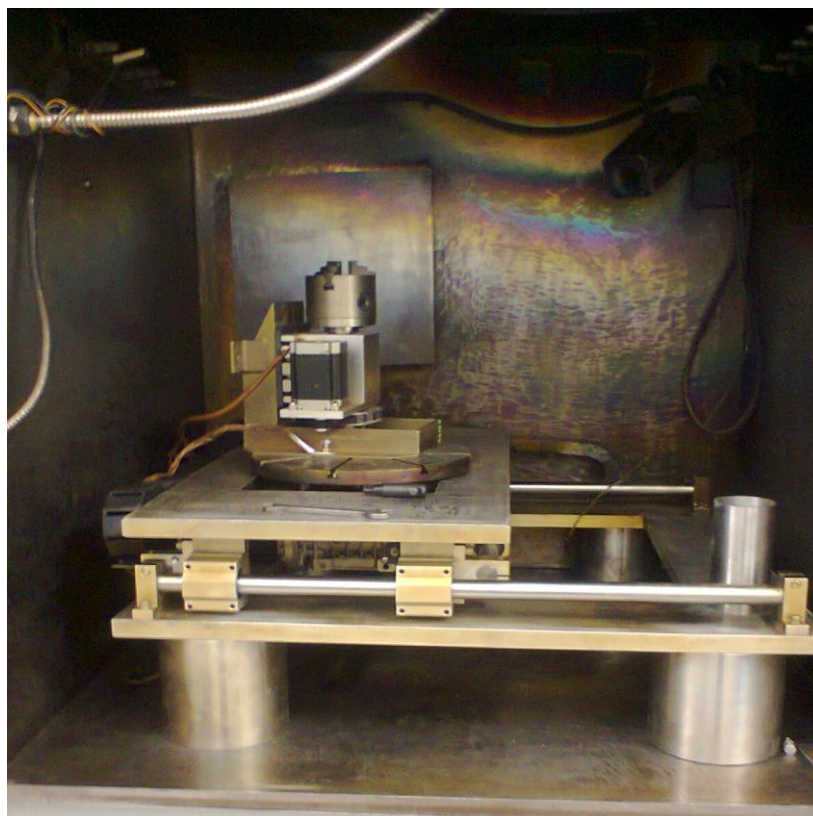


Рисунок 2.14 - Манипулятор перемещения с установленной планшайбой и дополнительными приспособлениями

### **2.2.3 Описание методики проведения экспериментов**

Для исследования свойств полученных сварных соединений в каждом опыте изменялись параметры, режимы сварки и материал образцов. Изучалось влияние изменения скорости и силы тока сварки на качество проплавления и образование различных деформаций. Применялось склепывание пластин в образце, для изучения влияния остаточных напряжений на сварной шов и сам образец.

Подготовленный образец зажимается в струбцину, которая устанавливается в камеру на экспозиционный стол. Вакуумная камера закрывается, люк затягивается болтами для полной герметизации. Включается компрессор для откачки воздуха из камеры. Этот процесс занимает 25-30 мин. За время откачки камеры в программу компьютера вводятся параметры образца

и режимы сварки. Внутри вакуумной камеры находятся датчики температуры и камера, передающая изображение на монитор. За процессом сварки можно наблюдать через окно в люке камеры и по монитору компьютера. После окончания эксперимента камера раскрывается и образец извлекается.

### **2.3 Методы исследования в работах других авторов**

Электронно-лучевые технологии применяют свыше 50 лет. На данный момент достигнуты значительные успехи в численном моделировании процессов ЭЛС, но законченные общепринятые модели до настоящего времени отсутствуют [9].

У авторов О.Г. Климовой, Г.А. Туричина, В.А. Лопоты, А.И. Шамшурина, И.А. Сизова. «Особенности структуры металла сварных соединений при электронно-лучевой сварке разнородных материалов», описаны результаты исследования структуры соединений разнородных материалов, полученных с помощью электронно-лучевой сварки. Проведена оценка тепловой ситуации в зоне сварки с использованием математического моделирования. Исследован химический и структурный состав металла шва и околошовной зоны при сварке сталей со сплавами на основе меди и алюминия. Для работы были использованы двухслойные образцы.

У Саломатовой Е. С. «Закономерности изменения химического состава сварных соединений при электронно-лучевой сварке с динамическим воздействием на электронный луч», описаны результаты численного моделирования процессов испарения легкоиспаряющихся элементов и прогнозирование химического состава сварных соединений при ЭЛС с осцилляцией и динамическим расщеплением электронного луча.

Проведена экспериментальная методика определения давления и интегральной температуры в парогазовом канале при ЭЛС с динамическим воздействием на электронный луч, которые определялись по данным о

химическом составе паров, образующихся над зоной сварки и совместно с расчетными значениями.

Исследованы влияния параметров режимов сварки на изменение концентрации легкоиспаряемых компонентов в сварных соединениях при ЭЛС с динамическим воздействием на электронный луч. Эксперимент проводился на 2х-слойных образцах.

В работе Кректулевой Р.А., Безгинова Р.О., Черепанова Р.О., Черепанов аО.И. «Исследование теплофизических процессов в контактирующей паре материалов ст3-а1 при аргодуговой сварке неплавящимся электродом», исследованы теплофизические процессы в контактирующих разнородных материалах на основе стали Ст3 и технического алюминия под воздействием движущегося электродугового источника. Предложена математическая 3D-модель, позволяющая прогнозировать структурно-фазовый состав материалов при кристаллизации в зоне расплава. Развита численные методы анализа режимов горения дуги и их влияния на конечные состояния взаимодействующих материалов после охлаждения ванны расплава. Для исследуемой пары материалов в результате численных расчетов определены условия взаимного массопереноса, при которых в зоне контакта образуется прочное интерметаллидное соединение  $Fe_3Al$ . Физические эксперименты, поставленные по результатам численного моделирования, подтвердили достоверность расчетных методов.

### **3 Анализ теплофизических процессов при формировании сварного соединения в слоистых композитах (Ст-Al-Ст-Al)**

В данной ВКР рассматривались стали марок 12X18H10T, 08ПС и алюминиевые сплавы АМгб, АМцМ.

В серии опытов по программе "Meza" были экспериментально рассчитаны параметры и режимы сварки, необходимые для проплавления 4х-слойных композитов. Были проведены компьютерные эксперименты и по полученным результатам построены графики, из которых видим происходящие процессы при сварке в каждом слое образца.

Основной проблемой свариваемости алюминия со сталью следует считать образование в зоне сплавления диффузионного слоя из хрупких и твердых интерметаллидных фаз типа  $Fe_nAl_m$ , снижающих технологическую и эксплуатационную прочность, а также коррозионную стойкость сварного соединения.

Диаграмма состояния алюминий - железо сложная, с несколькими промежуточными фазами (Рисунок 3.1). Способность этих металлов образовывать интерметаллические соединения можно объяснить разницей в электрохимических свойствах алюминия и железа.

Исходя из диаграммы состояния следует отметить, что только одна фаза  $Fe_3Al$  имеет необходимые прочностные и другие эксплуатационные свойства, обеспечивающие хорошее качество сварного соединения. А остальные фазы обладают повышенной хрупкостью, существенно ухудшающей качество сварного шва. Поэтому представляет интерес рассмотреть такие режимы, при которых было бы возможна фиксация и выделение только одной фазы  $Fe_3Al$  из диаграммы состояния. Эта фаза формируется при достаточно высокой температуре  $1773^0K$  близкой к температуре плавления стали. Зафиксировать эту фазу можно, поддерживая длительное время сварную ванну при такой температуре.

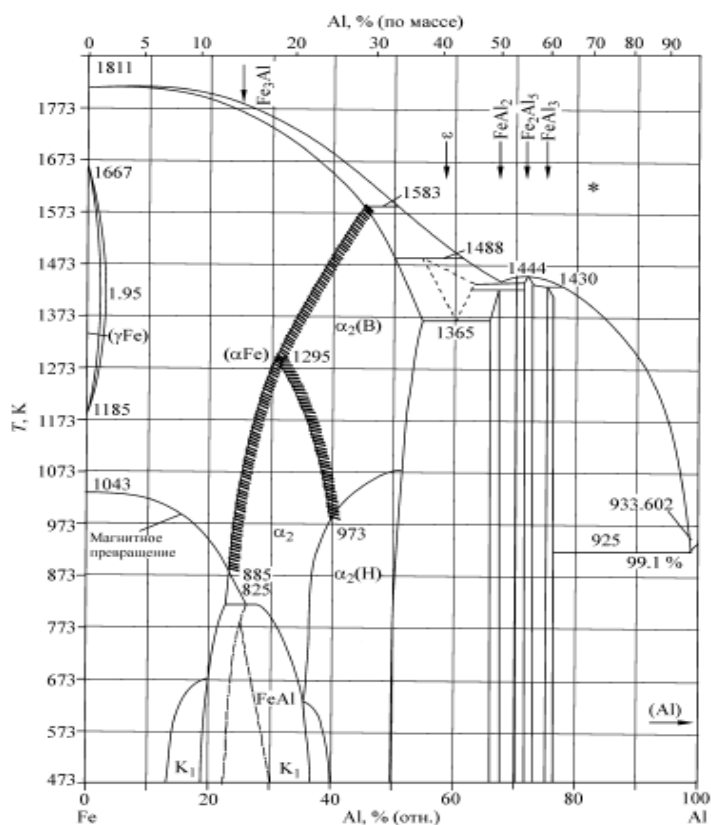


Рисунок 3.1 - Диаграмма состояния алюминий – железо

### 3.1 Результаты численного анализа по (ПО) "MEZA"

В настоящее время накоплен достаточно большой фактический материал по применению ПО "Meza" к сварке разнородных материалов. Программное обеспечение позволяет численно моделировать развитие тепловых процессов от нагрева до охлаждения во всем объеме свариваемых изделий.

В работе использовались две модели процессов: тепловая и газопаровая с учетом остаточных напряжений, по ним проводился анализ и выбраны нужные режимы для сварки.

Тепловая модель. Эти технологии сварки обладают важной особенностью - 93-95 % всей энергии, получаемой от источника питания, превращается в тепловую энергию. Это позволяет выделить шесть основных уровней системы, определяющих цели исследования Рисунок 3.2

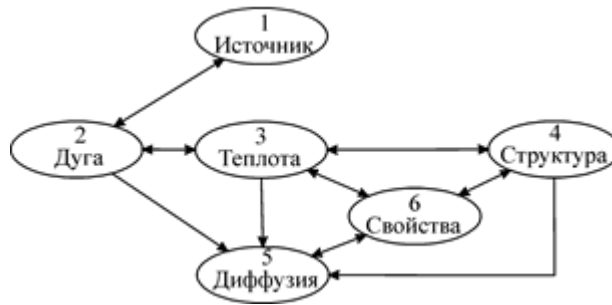


Рисунок 3.2 - Схема системных уровней и взаимосвязей между ними

Основы построения математической модели технологических процессов сварочного производства, включают уравнения баланса, уравнение фазовых переходов и уравнение кинетики химических превращений. Исходная система уравнений для моделирования процессов свариваемости пары Ст3-А1 имеет следующий вид:

$$\rho(T)C_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1)$$

$$L_k V_k = \lambda_s \frac{\partial T}{\partial n_{+0}} - \lambda_{liq} \frac{\partial T}{\partial n_{-0}}, \quad (2)$$

$$q(r) = \frac{\eta I U k}{\pi e^{kr^2}} \quad (3)$$

Здесь уравнение (1) описывает теплопередачу, (2) - фазовые превращения, (3) - распределение плотности потока энергии в зоне действия источника. Данная система уравнений решается со следующими начальными условиями:

$$T(x, y, z, 0) = T_0 \quad (4)$$

Также для решения поставленной задачи нам необходимо учесть и граничные условия:

- 1) вне области действия источника

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T - T_0) + \varepsilon \sigma (T_0^4 - T^4) \quad (5)$$

- 2) в области действия источника

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\eta I U k}{\pi} e^{-kr^2} \quad (6)$$

- 3) в области контакта двух разнородных материалов

$$\lambda_1(T) \frac{\partial T_1}{\partial n} = \lambda_2(T) \frac{\partial T_2}{\partial n}; x, y, z \in S_{12} \quad (7)$$

В этой системе уравнений (1)-(7) приняты следующие обозначения:

$\rho(T)$  - плотность;  $C_p(T)$  - теплоемкость;  $T$  - температура;  $t$  - время;  $x, y, z$  - пространственные координаты;  $\lambda(T)$  - зависимость коэффициента теплопроводности от температуры;  $L_k$  - теплота фазового перехода (в том числе плавление, испарение, кристаллизация);  $V_k$  - скорость движения фронта фазового перехода;  $n$  - вектор нормали к границе раздела фаз (индексы внизу  $\mp$  указывают на разные стороны от границы раздела);  $\lambda_s, \lambda_{liq}$  - коэффициенты теплопроводности материала в состоянии фазового перехода (например в твердой и жидкой фазах соответственно);  $r$  - радиус теплового пятна от источника нагрева;  $\eta$  и  $k$  - параметры, управляющие мощностью источника нагрева;  $I$  - ток;  $U$  - напряжение источника;  $\varepsilon$  - степень черноты тела;  $\alpha$  - коэффициент теплообмена с окружающей средой;  $\lambda_1, \lambda_2$  - коэффициенты теплопроводности контактирующих материалов;  $\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  - постоянная Стефана-Больцмана;  $S_{12}$  - площадь контакта нагреваемых образцов. Рассматривается прямолинейное перемещение электродугового источника с координатами движения, определяемыми системой уравнений

$$\begin{cases} x = x_0 + V_x t \\ y = y_0 \end{cases}$$

где  $x_0, y_0$  - начальные координаты точки,  $V_x$  - скорость движения источника вдоль оси  $x$ .

Добавляя диаграмму состояния Fe-Al к уравнениям (1)-(7), тем самым учли в неявном виде диффузионные процессы, которые происходят в контактирующих материалах [2].

В серии опытов по программе "Meza" были экспериментально рассчитаны параметры и режимы сварки, наиболее подходящие для проплавления 4х-слойных композитов - Таблица 3.1.1. При одинаковых вольт-амперных параметрах сварки менялась скорость движения источника в каждом эксперименте.



Таблица 3.1 - Параметры и режимы сварки, наиболее подходящие для проплавления 4х-слойных композитов

№ Эксперимента	Скорость, V мм/мин.	Напряжение, В	Сила тока, А
№1	900	30	45
№2	720	30	45
№3	600	30	45

Каждый опыт отслеживался и фиксировался виртуальными датчиками (960шт.) на протяжении всего процесса сварки (рисунки 3.3-3.4., 3.7.-3.8., 3.11.-3.12.). Так на рисунке (3.5., 3.9., 3.13.) приведены температурные кривые для вертикального сечения, отстоящего на 10мм от начала образца (20я ячейка) для всех трех режимов из таблицы 3.1.1.

Аналогично такие же профили были получены в различных плоскостях по глубине с шагом 0,5мм. На основе проведенных расчетов так же были построены графики распределения температур по ширине и глубине свариваемых образцов в различных сечениях (рисунок 3.6., 3.10)

### Эксперимент №1

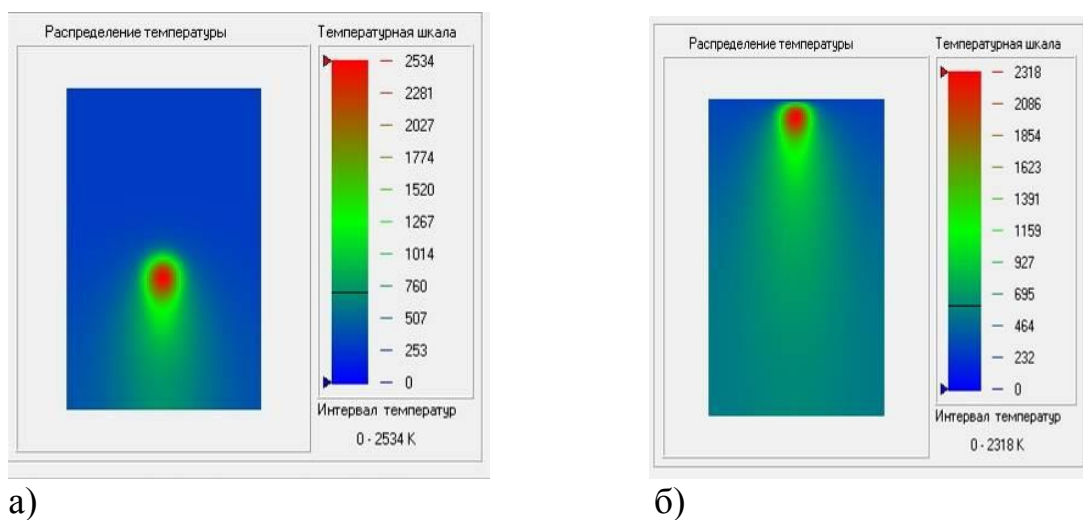
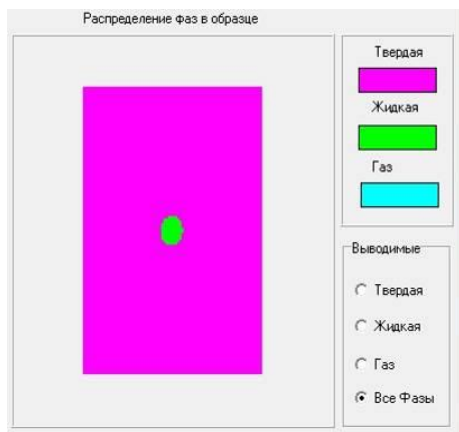
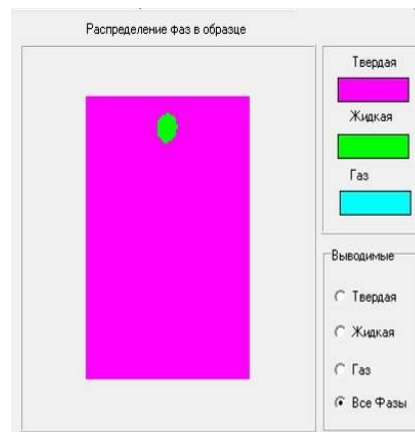


Рисунок 3.3 - Распределение поля температур в различные моменты времени:

а) в середине процесса, б) в завершении

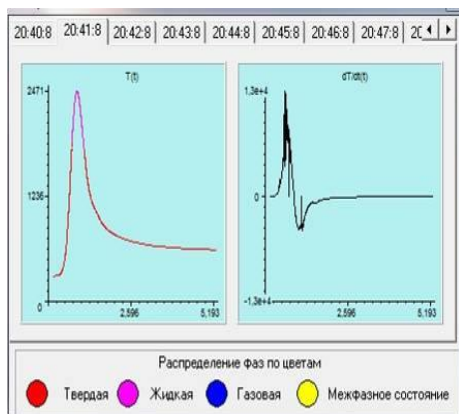


а)

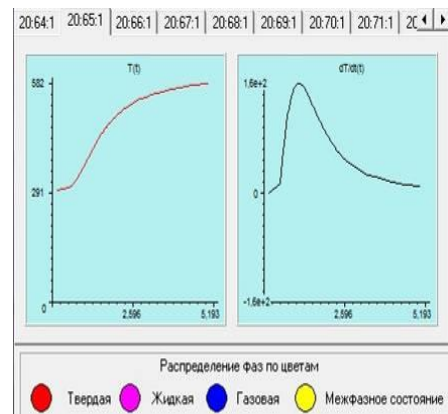


б)

Рисунок 3.4 - Области расплава: а) в середине образца, б) в конце



а)



б)

Рисунок 3.5 - Пример снятия температуры виртуальным датчиком в точках с координатами: а) [20:40:8] б) [20:80:1]

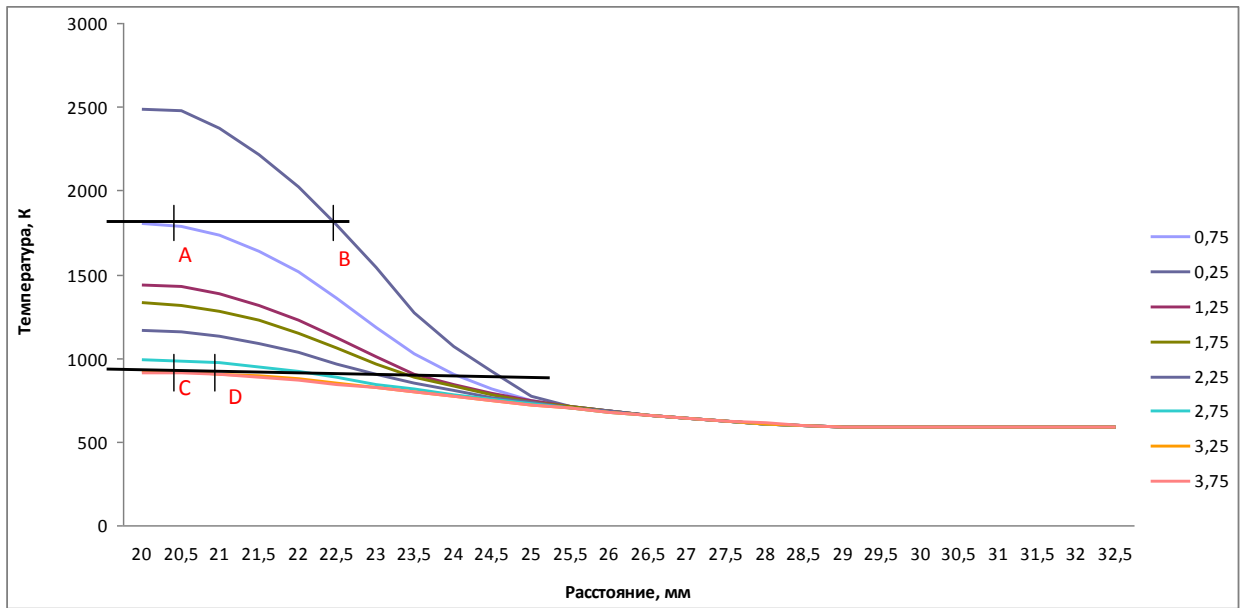


Рисунок 3.6 - График распределения температур в первом образце

Участок А-В - зона проплавления верхнего слоя(Ст), ширина шва - 2,5мм.

Участок С-Д - зона проплавления нижнего слоя(Al), ширина шва - 0,5мм.

Эксперимент №2

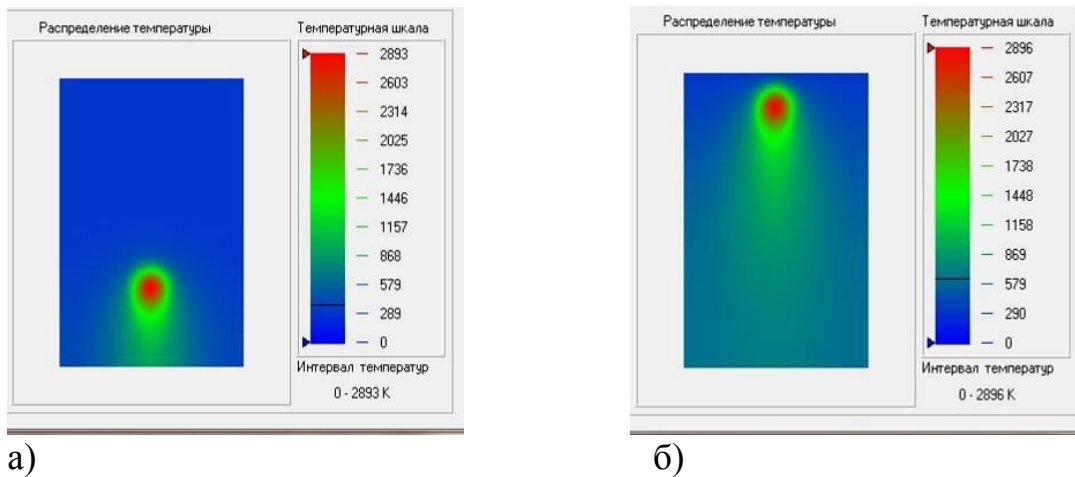
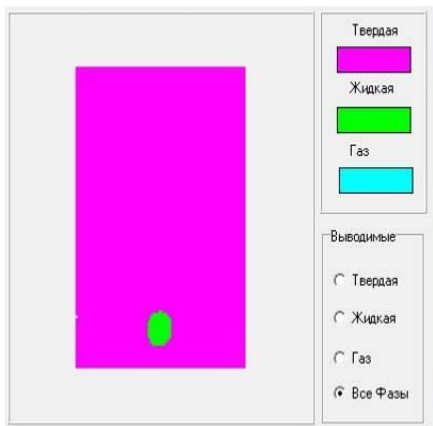
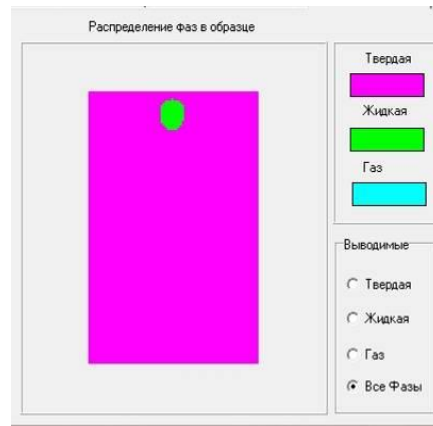


Рисунок 3.7 - Распределение поля температур в различные моменты времени:

а) в начале процесса, б) в завершении

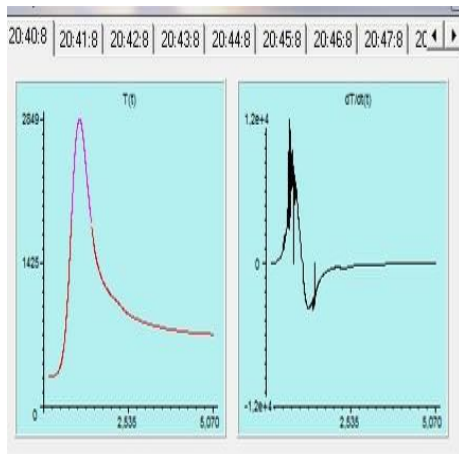


а)

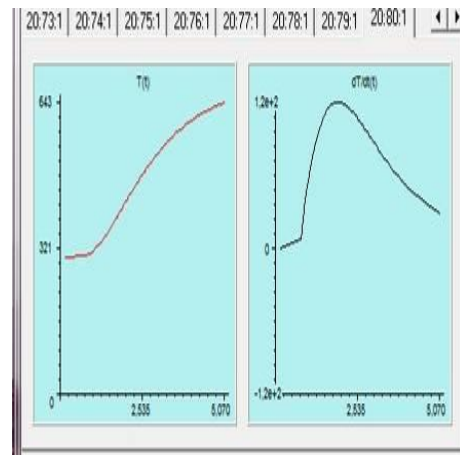


б)

Рисунок 3.8 -Области расплава: а) в начале образца, б) в конце



а)



б)

Рисунок 3.9 - Пример снятия температуры виртуальным датчиком в точках с координатами: а) [20:40:8] б) [20:80:1]

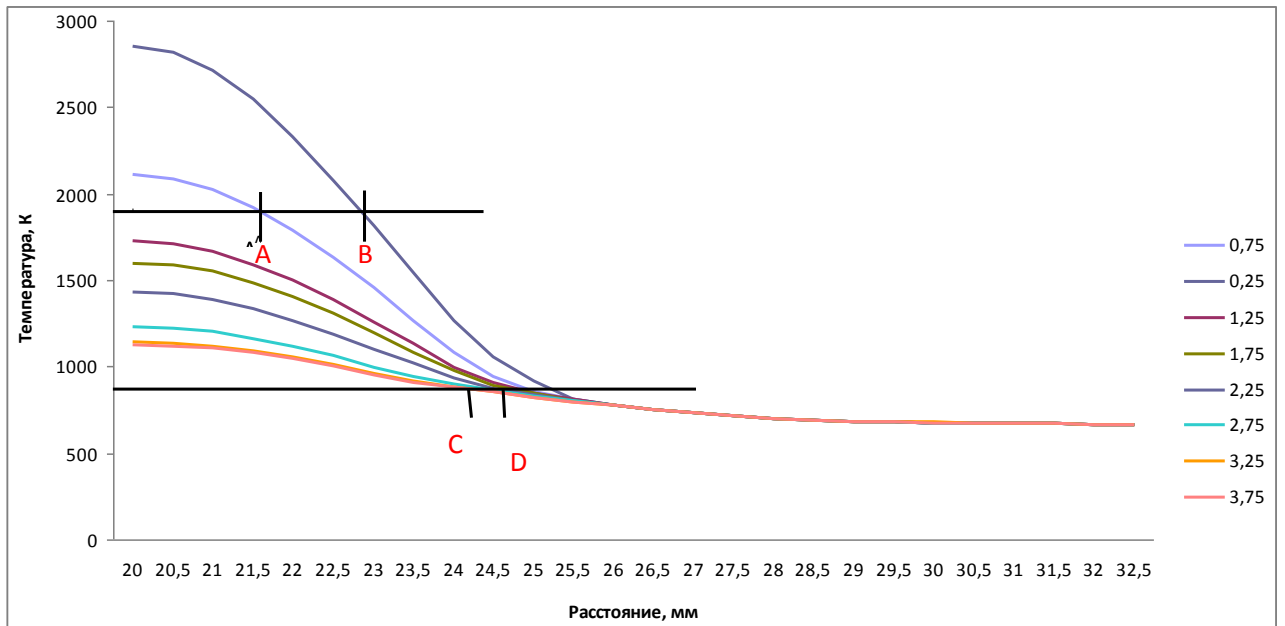


Рисунок 3.10 - График распределения температур во втором образце

Участок А-В - зона проплавления верхнего слоя(Ст), ширина шва - 1,5мм.

Участок С-Д - зона проплавления нижнего слоя(Al), ширина шва - 0,5мм.

### Эксперимент №3

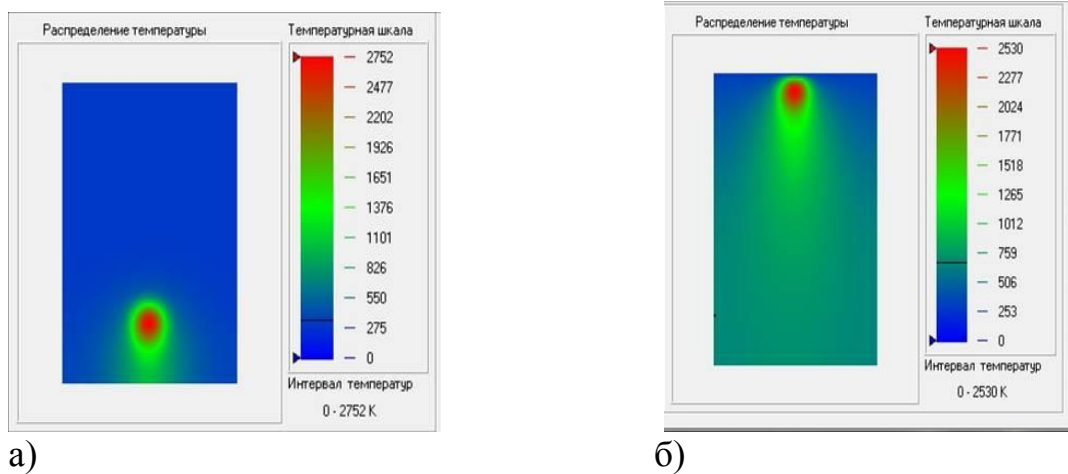
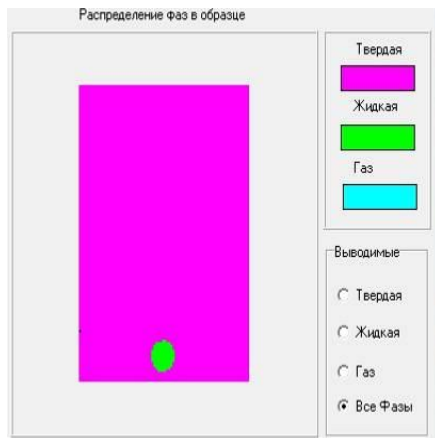


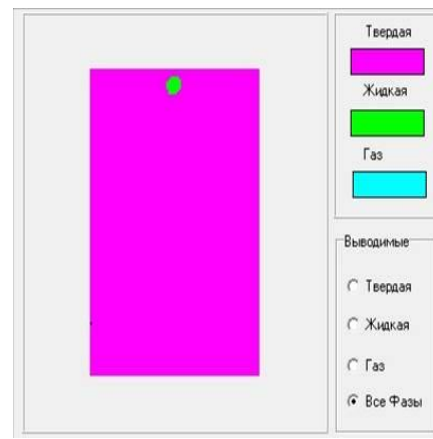
Рисунок 3.11 -Распределение поля температур в различные моменты

времени:

а) в начале процесса, б) в завершении.

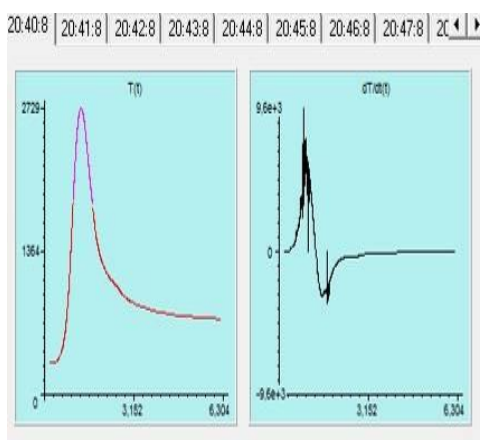


а)

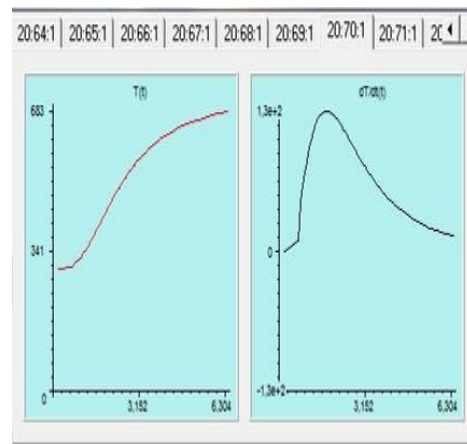


б)

Рисунок 3.12 -Области расплава: а) в начале образца, б) в конце



а)



б)

Рисунок 3.13 -Пример снятия температуры виртуальным датчиком в точках с координатами: а) [20:40:8] б) [20:80:1]

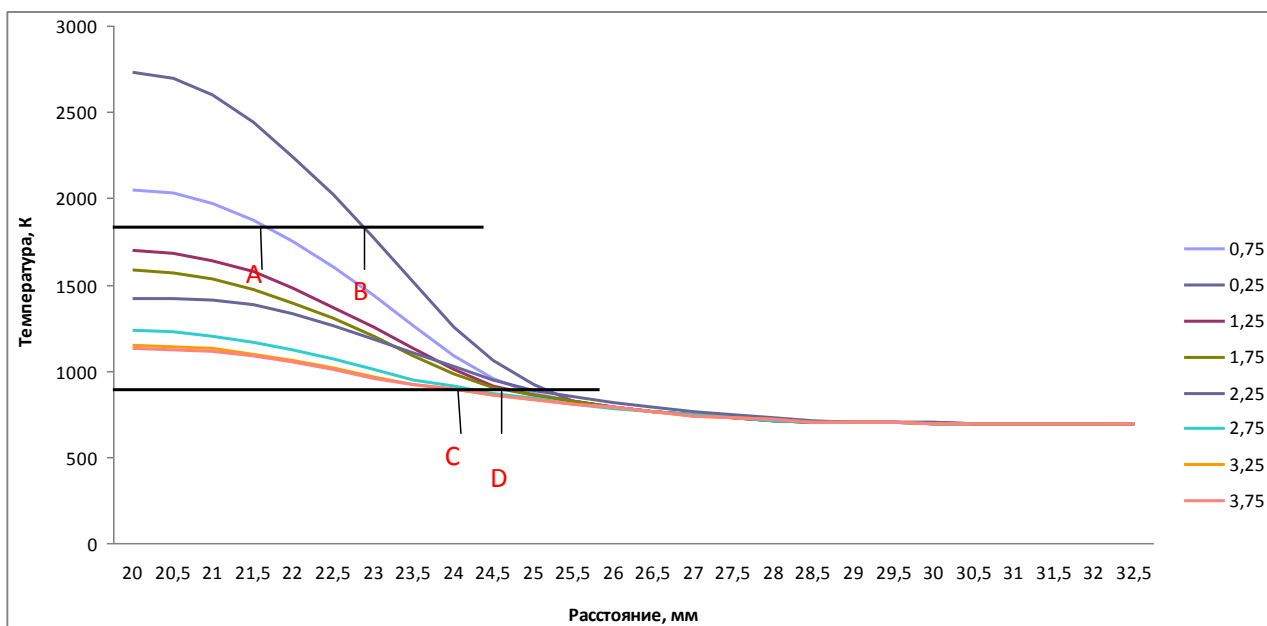


Рисунок 3.14 -График распределения температур в третьем образце

Участок А-В - зона проплавления верхнего слоя(Ст), ширина шва - 1,7мм.

Участок С-Д - зона проплавления нижнего слоя(Al), ширина шва - 0,7мм.

Как мы видим из этих расчетов Al интенсивно плавится, но плохо передает теплоту Ст слою, по этому нецелесообразно сваривать 4хслойные композиты, где верхний слой Al. При сваривании композитов на основе Fe и Al возникает газовая фаза, высокая температура и избыточное давление. Остаточные напряжения растягиваются от границы сварки и выходят к краям пластин. Эти процессы целесообразно исследовать по парогазовой модели, с учетом остаточных напряжений.

### 3.2 Термодеформационные процессы при остывании сварочного соединения многослойных композитов

Из расчетов видно, что при охлаждении возникают большие остаточные напряжения (рисунок 3.15). Учитывая, что коэффициент теплового расширения

у алюминия выше, чем в стали, то и тепловая деформация будет больше в алюминиевом слое, чем в стальном (рисунок 3.16). Это приведет к сильному неоднородному состоянию внутри материала, что повлечет за собой большие остаточные напряжения.

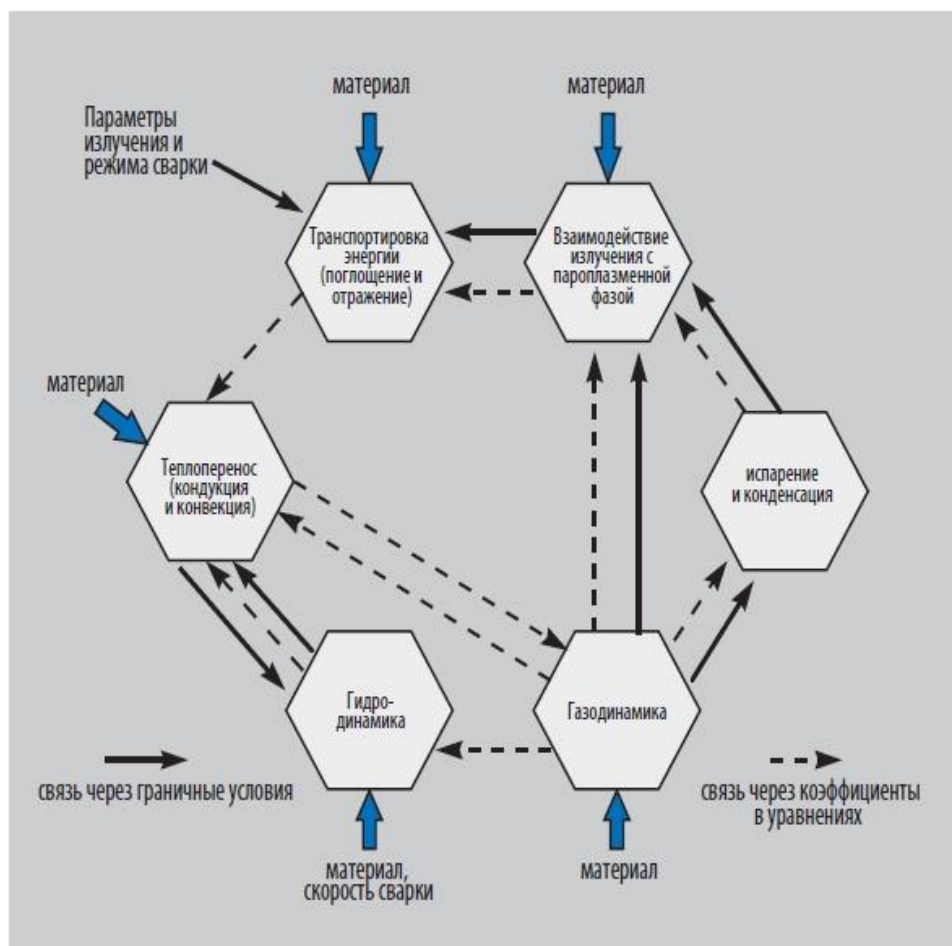


Рисунок 3.15 - Схема системных уровней и взаимосвязей между ними



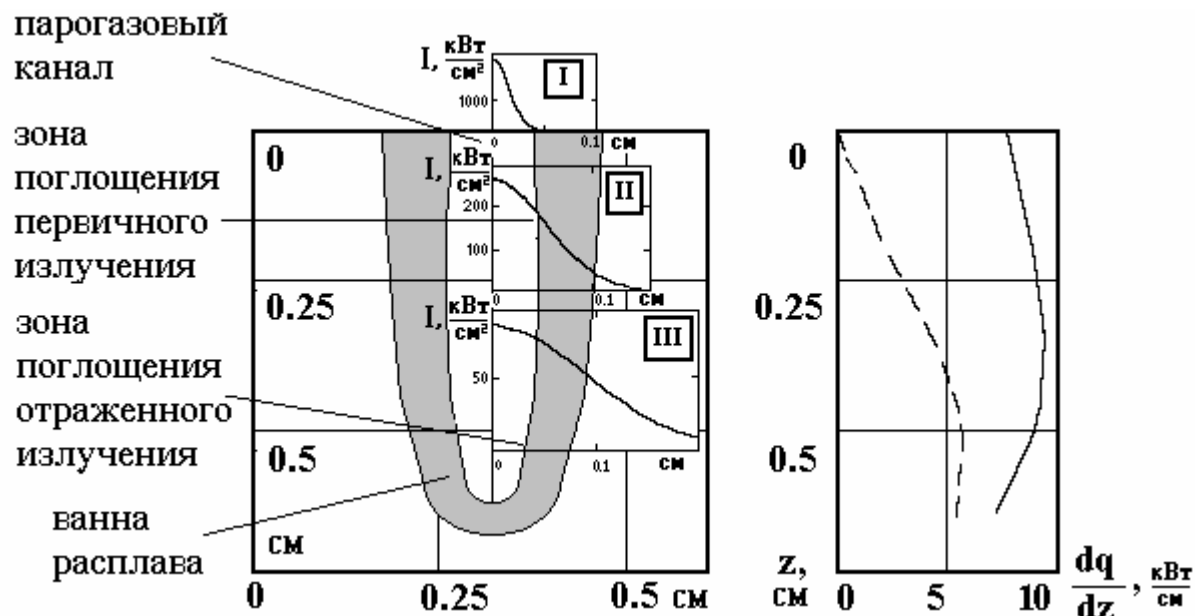


Рисунок 3.16 - Расчет модели электронно-лучевой сварки

Термодеформационный цикл сварки оказывает интенсивные воздействия на первоначальные размеры и формы металла конструкции – возможно появление технологических и конструкционных концентраторов напряжений (поры, шлаковые включения, усиление шва и т.п.), выявить и устранить которые часто невозможно. Переменное поле температур из-за термического расширения тел вызывает переменное поле напряжений. Часть напряжений остаются в свариваемом изделии после выравнивания температур. Основная причина возникновения термических напряжений – наличие пластичности при воздействии высоких температур и зависимость межатомных расстояний в кристаллической решетке от температуры [3].

В результате действия переменного температурного поля области, расположенные впереди максимума температурной волны, испытывают напряжения растяжения (более нагретые слои сплава их растягивают), а области, расположенные за максимумом температурной волны, испытывают напряжения сжатия (им мешают расширяться менее нагретые слои сплава) (рисунок 3.17). Основное влияние на деформированное состояние на первоначальных этапах оказывает не теплообмен с внешней средой, а перераспределение тепла внутри образца. Однонаправленный процесс

охлаждения идет только в центральной части шва, изначально нагретой до максимальной температуры, которая постепенно падает.

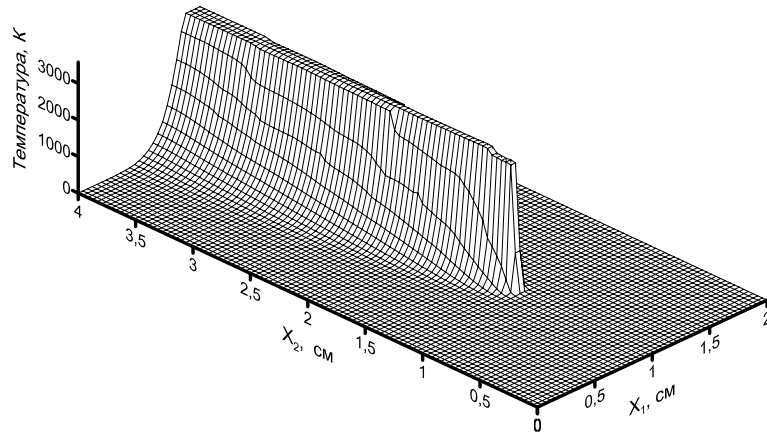


Рисунок 3.17 - Действие переменного температурного поля

В соседних, более холодных, областях сначала происходит прогревание, а затем и в них начинается падение температуры. Поэтому основная масса материала сварного соединения последовательно подвергается сначала нагреву, а затем охлаждению. Такой цикл нагрузки влияет на гидростатическое напряжение (давление) и напряжения сдвига (девиатор напряжений).

Охлаждающаяся центральная часть образца, в которой идет усадка, уменьшение объема, при падении температуры все время испытывает значительное растягивающее гидростатическое напряжение, тогда как на периферию образца медленно, вслед за распространением тепла, продвигается волнообразный фронт относительно малого гидростатического напряжения (сжатия) (Рисунок 3.18).

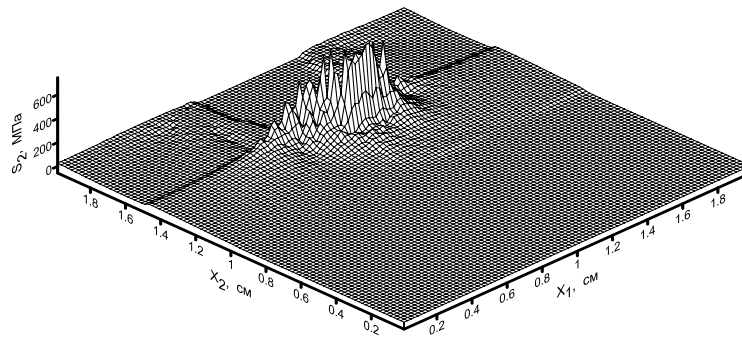


Рисунок 3.18 - Напряжение на границе сталь-алюминий

При охлаждении сварного соединения наиболее полные предпосылки для разрушения создаются по краям разделки шва (рисунок 3.19). Если напряжения, действующие в какой-либо зоне свариваемого материала, превысили предел текучести и не снизились в результате пластической деформации материала этой зоны, то происходит разрушение материала - возникает трещина. Именно в этой области сразу появляются 3 неблагоприятных фактора: высокая интенсивность напряжений сдвига, растягивающее гидростатическое напряжение, объемное расширение материала. Эти факторы в совокупности создают условия для раскрытия трещин [4].

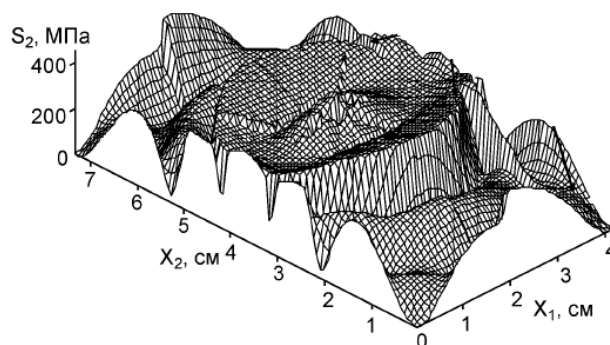


Рисунок 3.19 - Распределение интенсивности напряжений сдвига

Таким образом, трещины при сварке легче всего возникают в самом начале охлаждения металла шва (их еще называют горячие трещины), а также при низких температурах в ходе фазовых превращений (холодные трещины).

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **5.1. Предпроектный анализ**

В настоящее время разработка и внедрение в производственную сферу наукоемких технологий позволяет промышленным предприятиям при использовании этих технологий заменять устаревшие технологии в производственном процессе, чем повышать экономическую эффективность выполнения работ и выпуска продукции.

В производственном процессе промышленные предприятия, в том числе и машиностроение, по выпуску продукции особое место занимают используемые виды материалов, имеющие свои характерные свойства, структуру и различающиеся стоимостью. Оптимальная цена ресурсов и их ресурсосбережение для производства продукции и выполнения работ предприятия является определяющим фактором, который позволяет увеличивать доход посредством снижения затрат.

#### **5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Задача исследования состояла в решении технологической проблемы сварки композитов стали и алюминия при сварке электронным лучом с формированием одной прочной фазы. Более точное управление параметрами теплового источника электронным лучом сварки обладает очевидным преимуществом при сварке разнородных материалов – исключает образование оксидной пленки; при высоких скоростях электронного луча – исключает

образование прослойки интерметаллидов и образования обширной области термического влияния в материалах с высокой теплопроводностью. Данное исследование позволит определить и уточнить теоретические представления о происходящих физических процессах при электронно-лучевой сварке.

ЭЛС представляется наиболее перспективным и экономически оправданным методом. Основными отраслями применения считаются: машиностроение, автомобильная, медицинская, космическая промышленность, энергетика и др.

Назначение ЭЛС – получение неразъемных соединений применительно к конструкциям. Область применения – соединение алюминиевых сплавов до 100 мм и тонколистовой стали до 80 мм.

## 5.2 Анализ конкурентных технических решений

Для анализ конкурентных технических решений составим оценочную карту сравнения конкурентных технических решений по пяти бальной шкале, где  $B_{\phi}$  – дуговая микросварка,  $B_{K1}$  - лазерная сварка,  $B_{K2}$  – электронно-лучевая сварка (таблица 1).

Анализ конкурентных технических решений определим по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i, \quad (1)$$

где:  $K$  – конкурентоспособность научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 5.1. – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$B_{\phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	9
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Энергоэкономичность	0,15	5	2	3	0,75	0,3	0,45
3. Качество сварного шва	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
4. Повышение производительности	0,2	5	5	5	1	1	1

Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Конкуренентоспособность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Предполагаемый срок выполнения работы	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
3. Цена	0,15	5	2	3	0,75	0,3	0,45
4. Послепродажное обслуживание	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Итого	1	35	25	26	4,0	2,7	2,9

К преимуществам ЭЛС – точное дозирование и минимальное количество энергии, локальное и кратковременное воздействие, отсутствие расплавленного и нагретого металла, минимальные сварочные деформации конструкций, высокая точность сварки, высокая производительность и низкая трудоемкость, высокая экологичность условий труда.

Фокусировкой электронного луча, возможно, получить пятно нагрева диаметром 0,002-5 мм, что позволяет за один раз сваривать металлы толщиной до 200 мм.

Недостатки: возможное образование несплавлений в корне шва, требуется длительное время для создания вакуума в рабочей камере после загрузки изделий.

Дуговая микросварка достоинства: значительное повышение производительности благодаря возможности выполнения сварки на высоких плотностях тока (40-500 А/мм<sup>2</sup>); отсутствие потерь электродного металла на огарки; облегчение труда сварщиков и снижение затрат времени на обучение сварщиков.

Недостатки: меньшая маневренность и универсальность.

Лазерная сварка достоинства: высокая концентрация энергии; возможность сварки термочувствительных деталей и сварки в труднодоступных местах, проведение сварки в вакууме и защитных газах; подвод дозированной энергии в зону сварки; высокая промышленная стерильность процесса и отсутствие выделения вредных паров; высокая технологичности, автоматизации и производительности.

Недостатки: необходимость приобретения дорогостоящей установки, высокие требования к квалификации персонала, наличие вибраций и

применения вибростойких платформ, защиты персонала от лазерного излучения аппаратуры.

### 5.3. SWOT – анализ

Таблица 5.2. – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	С1. Наличие бюджетного финансирования С2. Наличие научного руководителя С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С4. Широкая область применения С5. Актуальность проекта	Сл1. Отсутствие подобной научной разработки Сл2. Перенастройка оборудования Сл3. Значительный срок поставок материалов и комплектующих для проведения научного исследования Сл4. Отсутствие квалифицированного персонала
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного исследования В3. Повышение стоимости конкурентных разработок В4. Получение качественных сварных соединений	Получение нового оборудования для ЭЛС. Возможность создания партнерских отношений с ведущими вузами для совместных исследований в области электронно-лучевой сварки	Снижение цен на технологии, используемые в ЭЛС Требуется длительное время для введения нового оборудования в эксплуатацию. Сотрудничество с зарубежными специалистами имеющими опыт работы с ЭЛС и повышение квалификации рабочих
У1. Появление новых технологий У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации проектной разработки	Экономическая эффективность оборудования ЭЛС в единичном и мелкосерийном производствах Российской Федерации. Повышение квалификации рабочих предприятий, т.к. тема актуальна и есть современные технологические разработки оборудования	Расширение области применения за счет развития новых технологий.

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 3-6.

Таблица 5.3. – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

		Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
		В1	-	+	+	+
	В2	+	+	+	+	+
	В3	+	+	-	+	+
	В4	-	+	+	+	+



Анализ интерактивной таблицы 3 позволил выявить сочетание сильных сторон и возможностей, это: В1 С2 С3 С4 С5; В2 С1 С2 С3 С4 С5; В3 С3 С4 С5; В4 С2 С3 С4 С5.

Таблица 5.4. – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	+	+	-	+
	В4	-	+	+	+

Анализ интерактивной таблицы 4 позволил выявить сочетание слабых сторон и возможностей, это: В1 Сл1 Сл3 Сл4; В2 Сл1 Сл3; В3 Сл2 Сл4; В4 Сл1 Сл2 Сл3.

Таблица 5.5. – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	+	-	+	+	+
	У3	-	-	+	+	-

Анализ интерактивной таблицы 5 позволил выявить сочетание сильных сторон и угроз, это: У1 С4 С5; У2 С1 С3 С4 С5; У3 С3 С4.

Таблица 5.6. – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	-
	У2	+	+	+	-
	У3	-	-	-	+

Анализ интерактивной таблицы 6 позволил выявить сочетание слабых сторон и угроз, это: У1 Сл1 Сл2 Сл3; У2 Сл1 Сл2 Сл3.

## 5.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 5.7. – Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Способ защиты	Вакуум	Отдельный подвод	Комбинированный
Б. Защита	Пучок электронов	Лазер	Электро-лазер
В. Конструктивное исполнение	Герметизация и вакуум	Заданные параметры пучка электронов	Прямолинейное
Г. Приведение в рабочее состояние	Ручное включение	Автоматическое включение	Постоянно в рабочем состоянии
Д. Лазер находится	Установка энергетического и электромеханического комплексов	Специальный механизм	-

Возможные варианты решения технической задачи:

В первом случае: А2 Б3 В2 Г2 Д2 – качественная ЭЛС тонколистовых конструкций из сталей и алюминия;

Во втором случае: А3 Б2 В3 Г1 Д1 – ЭЛС тонколистовых металлов со специальной формой шва;

В третьем случае: А1 Б1 В1 Г1 Д2 – ЛЭС тонколистовых конструкций обеспечивающие требуемое качество сварного соединения.

## 5.5 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 5.8. – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы работы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Разработка и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы исследования	
Выбор направления исследования	3	Выбор направления исследования	Научный руководитель
	4	Поиск и изучение материала по теме исследования	Студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретическое исследование	6	Изучение литературы по теме исследования	Студент
	7	Подбор документов	
	8	Экспериментальная разработка	Научный руководитель
Практическое исследование	9	Проведение экспериментальных исследований	Студент
	10	Подготовка образцов к исследованию	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов исследования	Научный руководитель, студент
	12	Заключение	Научный рук. студент

В структуре работ в рамках научного исследования, на долю работ студента приходятся: поиск и изучение материала по теме исследования; Календарное планирование работ; изучение литературы по теме исследования; подбор документов; подготовка образцов к исследованию; проведение экспериментальных исследований. Под руководством научного руководителя студент анализирует результаты исследования и оформляет заключение.

### 5.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Показатель трудоемкости выполнения работ характеризует затраты живого труда, выраженные в рабочем времени, затраченном на выполнение исследовательской темы.

$$t_{ожі} = (3t_{\min i} + 2t_{\max i}) / 5, \quad (2)$$

где:  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  
 $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка в предположении более благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  
 $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка в предположении более неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

На основании ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, т.к. удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет приблизительно 65%.

$$T_{pi} = t_{ожі} * Ч_i, \quad (3)$$

где:  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  
 $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  
 $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме исследования показываются временными отрезками с датами начала и окончания выполнения этапов работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = T_{\text{кал}} / (T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}), \quad (5)$$

где:  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в 2017 году;  
 $T_{\text{вых}} = 92$  – количество выходных дней в 2017 году;  
 $T_{\text{пр}} = 26$  – количество праздничных дней в 2017 году.

$$k_{\text{кал}} = 365 / (365 - 92 - 26) = 1,48$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 5.9 и после ее заполнения строим календарный план-график (таблица 5.10). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения выпускной квалифицирующей работы. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 5.9. – Временные показатели проведения научного исследования

Содержание работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{pi}$					
	$t_{min}$ , чел/дни			$t_{max}$ , чел/дни			$t_{ожд}$ , чел/дни				испл.1	испл.2	испл.3	испл.1	испл.2	испл.3			
	испл.1	испл.2	испл.3	испл.1	испл.2	испл.3	испл.1	испл.2	испл.3										
Разработка и утверждение темы проекта	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Научный руководитель				3	3	3	5	5	5
Анализ актуальности темы исследования	1	1	1	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Научный руководитель				4	4	4	5	5	5
Выбор направления исследования	1	1	1	5	5	5	1,4	1,4	1,4	Научный руководитель				4	4	4	5	5	5
Поиск и изучение материала по теме исследования	1	2	2	3	4	4	1,8	1,8	1,8	Студент				2	2	2	3	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	9,8	9,8	9,8	Студент				2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме исследования	7	7	7	14	14	14	3,8	3,8	3,8	Студент				10	10	10	15	15	15
Подбор документов	6	6	6	8	9	9	3,8	3,8	3,8	Студент				4	4	4	5	5	5
Экспериментальная разработка	5	5	5	5	7	7	3,8	5,8	5,8	Научный руководитель				7	7	7	10	10	10
Проведение экспериментальных исследований	1	2	3	13	14	15	11,8	12,8	13,8	Студент				12	13	14	18	19	20
Подготовка образцов к исследованию	2	2	2	10	10	10	8	8	8	Студент				8	8	8	12	12	12

Анализ результатов исследования	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Науч. руков-ль, студент	2	2	2	3	3	3
Заключение	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Научный руководитель, студент	3	3	3	4	4	4

Таблица 5.10. – Календарный план-график проведения ВКР по теме «Анализ свариваемости композитов на основе сплавов железа и алюминия при электронно-лучевой сварке»

№ работ	Вид работ	Исполнители	Тк <sub>и</sub> , кал.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль			март			апрель						
				1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	Разработка и утверждение темы проекта	Научный руководитель	5	■	■											
2	Анализ актуальности темы исследования	Научный руководитель	5		■	■										
3	Выбор направления исследования	Научный руководитель	5			■	■									
4	Поиск и изучение материала по теме исследования	Студент	3				■	■								
5	Календарное планирование работ	Студент	3				■	■								
6	Изучение литературы по теме исследования	Студент	15				■	■	■							
7	Подбор документов	Студент	5					■	■							
8	Экспериментальная разработка	Научный руководитель	10						■	■						
9	Проведение экспериментальных исследований	Студент	20								■	■	■	■		
10	Подготовка образцов к исследованию	Студент	12									■	■	■	■	
11	Анализ результатов исследования	Научный руководитель, студент	3												■	■
12	Заключение	Научный руководитель, студент	4													■

■ - научный руководитель;

■ - студент.

## 5.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ отражаются все виды расходов, связанных с его выполнением.

### 5.6.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$ЗМ = (1 + kT) * \sum_{i=1}^m Ц_i * N_{расх\ i}, \quad (6)$$

где  $kT$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;  
 $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данного исследования, заносятся в таблицу 5.11.

Таблица 5.11. – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, руб		
		испл.1	испл.2	испл.3	испл.1	испл.2	испл.3	испл.1	испл.2	испл.3
Бумага	лист	160	120	140	2	2	2	320	240	280
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Ручка	шт.	1	1	1	25	25	25	25	25	25
Блокнот	шт.	1	1	1	20	20	20	20	20	20
Дополнительная литература	шт.	2	1	1	300	250	240	600	500	480
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	350	350	350
Итого	-	-	-	-	-	-	-	2315	2135	2155

Наибольшие материальные затраты приходятся на Исп 1 – 2315 руб. за счет использования дополнительной литературы.

#### 5.6.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данную статью включают все затраты, связанные и использованием оборудования, необходимого для проведения работ по теме исследования.

Таблица 5.12. – Расчет бюджета затрат на использование специального оборудования для электронно-лазерной сварки в целях научных работ

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, руб		
		испл.1	испл.2	испл.3	испл.1	испл.2	испл.3	испл.1	испл.2	испл.3
Электроэнергия	Ватт	300	400	500	4	4	4	1200	1600	2000
Специальное оборудование	шт.	1	1	1	80000	80000	80000	80000	80000	80000
Итого	-	-	-	-	-	-	-	81200	81600	82000

Затраты на специальное оборудование для электронно-лазерной сварки в целях научных работ приняты в размере 80000 рублей.



### 5.6.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей

Основная заработная плата состоит из оклада, в ее состав включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 13.

Таблица 5.13. – Расчет основной заработной платы

Наименование этапов работ	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел/дней			Зарплата, приходящаяся на один чел/дн., тыс. руб.			Всего за заработная плата по окладу, тыс. руб.		
		исп.1	исп.2	исп.3	исп.1	исп.2	исп.3	исп.1	исп.2	исп.3
Разработка и утверждение темы проекта	Научный руководитель	2	2	2	3,6			7,2	7,2	7,2
Анализ актуальности темы исследования	Научный руководитель	1	1	1	4,4			4,4	4,4	4,4
Выбор направления исследования	Научный руководитель	1	1	1	4,4			4,4	4,4	4,4
Поиск и изучение материала по теме исследования	Студент	1	1	1	3,6			3,6	3,6	3,6
Календарное планирование работ	Студент	2	2	2	3,6			7,2	7,2	7,2
Изучение литературы по теме исследования	Студент	10	10	10	0,8			8,0	8,0	8,0
Подбор документов	Студент	3	4	4	4,4			13,2	17,6	17,6
Экспериментальная разработка	Научный руководитель	6	6	6	0,8			4,8	4,8	4,8
Проведение экспериментальных исследований	Студент	2	3	4	0,8			1,6	2,4	3,2
Подготовка образцов к исследованию	Студент	1	1	1	0,8			0,8	0,8	0,8
Анализ результатов исследования	Научный руководитель, студент	2	2	2	4,4			8,8	8,8	8,8
Заключение	Научный руководитель, студент	4	4	4	0,8			3,2	3,2	3,2
Итого	-	-	-	-	-			67,2	72,4	73,2

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Ззп = Зосн + Здоп, \quad (7)$$

где  $Зосн$  – основная заработная плата;

$Здоп$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Зосн$ ).

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Здоп = k_{доп} * Зосн, \quad (8)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей ( $48000 * 1,12$ ), студента – 35504 рублей ( $31700 * 0,12$ ).

#### 5.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Звнеб = k_{внеб} * (Зосн + Здоп), \quad (9)$$

где:  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования, соцстрах).

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 5.14. – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп1	Исп2	Исп3	Исп1	Исп2	Исп3
Научный руководитель проекта	48000	5700	5700	5760	6840	6840
Студент	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого:						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

Начисления во внебюджетные фонды (таблица 14) производились с учетом суммирования сумм начислений основной и дополнительной заработной платы научного руководителя и студента (общий итог).

#### 5.6.5 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} * \sum \text{статей} , \quad (10)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таким образом, расчет накладных расходов произведем по суммированным по статьям затрат: материальных, использования специального оборудования, по основной и дополнительной заработной плате, начислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{накл}} = 196993,5 * 0,16 = 31518,9 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{накл}} = 203819,4 * 0,16 = 32611,1 \text{ руб}$$

$$\text{Знакл} = 205520,5 * 0,16 = 32883,3 \text{ руб.}$$

Принимаем наибольшие накладные расходы, которые пришлось на третье исполнение и равны 32883,3 руб.

#### 5.6.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 5.15. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп1	Исп2	Исп3
1. Материальные затраты НИИ	2315	2135	2155
2. Затраты на использование специального оборудования для электронно-лазерной сварки	81200	81600	82000
3. Затраты по основной заработной плате	79700	84400	85300
4. Затраты по дополнительной заработной плате	9588	10128	10236
5. Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5
6. Накладные расходы	31518,9	32611,1	32883,3
Итого Бюджет затрат НИИ	228512,4	236430,5	238403,8

Бюджет затрат НИИ (таблица 15) в Исп1 составил 228512,4 руб., в Исп2 – 236430,5 руб., в Испл3 – 238403,8 руб. наибольший бюджет затрат пришелся на Исп3.

#### 5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин } p \text{ исп } i} = \Phi r_i \Phi_{\text{max}}, \quad (11)$$

где  $I_{\text{фин } p \text{ исп } i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi r_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр исп1}} = 228512,4 / 238403,8 = 0,96;$$

$$I_{\text{финр исп2}} = 236430,5 / 238403,8 = 0,99;$$

$$I_{\text{финр исп3}} = 238403,8 / 238403,8 = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i \quad (12)$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b^i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 5.16).

Таблица 5.16. – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2	Исп3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,25	3	4	4
3. Энергосбережение	0,15	5	5	5
4. Надежность	0,15	3	5	4
5. Материалоемкость	0,35	4	5	5
Итого	1	4,25	5,0	4,15

$$I_{p\text{-исп1}} = 4 * 0,1 + 3 * 0,25 + 5 * 0,15 + 4 * 0,15 + 5 * 0,35 = 4,25;$$

$$I_{p\text{-исп2}} = 5 * 0,1 + 5 * 0,25 + 5 * 0,15 + 5 * 0,15 + 5 * 0,35 = 5,0;$$

$$I_{p\text{-исп3}} = 3 * 0,1 + 3 * 0,25 + 5 * 0,15 + 4 * 0,15 + 5 * 0,35 = 4,15.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{исп}i}$ ,  $I$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп}i} = (I_p - I_{\text{исп}i}) / (I_{\text{исп}i} \text{ финр}). \quad (13)$$

$$I_{\text{исп1}} = 4,25 / 1,39 = 0,72; \quad I_{\text{исп2}} = 5 / 1,68 = 5,1; \quad I_{\text{исп3}} = 4,15 / 1 = 4,15.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблицу 17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\text{Эср}$ ):

$$\text{Эср} = \text{Исп } i * \text{Исп } \textit{max}. \quad (14)$$

Таблица 5.17. – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп1	Исп2	Исп3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,39	1,68	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	5,0	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	0,72	5,1	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,39	1,68	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Общий вывод:

Анализ конкурентных технических решений показал, что по наибольшим техническим критериям оценки ресурсоэффективности лазерная сварка превосходит электронно-лучевую и дуговую микросварку. В тоже время качество сварного шва лучшее при электронно-лучевой сварке.

Наибольшие общие экономические критерии оценки ресурсоэффективности отмечаются также у лазерной сварке за счет более низкой цены, по остальным показателям электронно-лучевая сварка имеет лучшие оценки ресурсоэффективности.

Проведенный SWOT – анализ в целях выявления слабых и сильных сторон электронно-лучевой сварке показал, что ее применение целесообразно за счет развития новых технологий и она экономически эффективна в единичном мелкосерийном производстве.

Трудоемкость работ при проведении научного исследования составляет: минимальная – 28 чел./дн., максимальная – 83 чел./дн., ожидаемая – 58,2

чел./дня. Длительность работ в рабочих днях – 66 дн. Длительность работ в календарных днях – 90 дн.

Бюджет затрат НИИ (таблица 15) в Исп1 составил 228512,4 руб., в Исп2 – 236430,5 руб., в Испл3 – 238403,8 руб. наибольший бюджет затрат пришелся на Исп3.

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволило определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Так реализация технологии электронно-лучевой сварке в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения поставленной задачи в исследовании темы.

## **6 Социальная ответственность**

Объект исследования: технология свариваемости слоистых материалов (Сталь 12Х18Н10Т, сталь 08ПС, алюминий).

Работы производились в офисных и лабораторных помещениях. Основная часть работы производится на месте, оборудованном ПЭВМ, поэтому в данном разделе ВКР рассматриваются вопросы анализа и выявления возможных опасных и вредных факторов на рабочем месте инженера. Площадь занимаемого помещения составляет 30 м<sup>2</sup>, на которых располагаются 4 человека.

### **6.1 Анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте**

Работу по подготовки технологии свариваемости можно разделить на несколько этапов. Первый этап - теоретическая подготовка. Этот этап проводится за работой на компьютере и изучении нормативной документации. Вредные и опасные факторы идентифицированные на данном этапе следующие:

- повышенная температура поверхностей ПК;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание;
- напряженность трудового процесса;
- зрительное напряжение.

При лабораторных исследованиях образцов используется сварка, резка, химическая обработка шлифов. Вредные и опасные факторы которые могут возникнуть на этом этапе:

- поступление в зону дыхания сварочных аэрозолей;
- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха;
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне;
- поражение электрическим током;
- излишняя яркость сварочной дуги, УФ- и ИК-радиация;
- влияние шума;
- поражение и ожоги от химических реактивов.

### **6.1.1 Производственный шум**

Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА [11].

Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению.

Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

При работе в офисном помещении мерами для защиты от шума извне могут служить современные пластиковые окна и шумоизоляционные панели стен. Шум от работы ПК можно понизить, используя малошумные вентиляторы охлаждения на подшипниках, либо водяное охлаждение системного блока.



При работе в сварочной лаборатории средствами индивидуальной защиты от шума являются ушные вкладыши и наушники. Эффективность индивидуальных средств защиты зависит от используемых материалов, конструкции, силы прижатия, правильности ношения. Ушные вкладыши вставляют в слуховой канал уха. Их изготавливают из легкого каучука, эластичных пластмасс, резины, эбонита и ультратонкого волокна. Они позволяют снизить уровень звукового давления на 10...15 дБ. В условиях повышенного шума рекомендуется применять наушники, которые обеспечивают надежную защиту органов слуха. Так, наушники ВЦНИОТ снижают уровень звукового давления на 7...38 дБ в диапазоне частот 125...8000 Гц.

### **6.1.2 Ультрафиолетовое излучение (УФИ)**

Горение сварочной дуги сопровождается излучением ослепительно ярких световых лучей и невидимых глазом УФ и ИК лучей. Спектр излучения включает участок ИК волн (3430-760 нм), видимый участок (760-400 нм) и УФ участок (400-180 нм). [11]

Видимые световые лучи ослепляют, так как яркость их превышает физиологически переносимую дозу. Короткие ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии могут вызвать электроофтальмию. Инфракрасные лучи обладают главным образом тепловым эффектом, их интенсивность зависит от мощности дуги. При современных способах сварки тепловая радиация на рабочем месте может составлять 0,5-6 кал/см<sup>2</sup>\*мин. Источниками тепловой радиация являются дуга и в меньшей степени нагретый металл.

Для защиты от излучения используются сварочные маски и щитки конструкция масок должна соответствовать ГОСТ 12.4.035-78 и ТУ 3441-003-07515055-97. Светофильтры для помещений принимаются марки С4.

### 6.1.3 Защита от поражения электрическим током

Основной защитой человека от поражения электрическим током является заземление. Благодаря использованию различных заземляющих приспособлений удастся избежать жертв на производстве.

#### 6.1.3.1 Электробезопасность. Расчет защитного заземление

В качестве заземлителей применяем уголок сечением  $60 \times 60 \text{ мм}^2$  верхние контуры заземлителей соединены между собой с помощью полосовой стали. Полосовую сталь применяем сечением  $5 \times 12 \text{ мм}^2$ .

Для того чтобы уменьшить колебание удельного сопротивления грунта заземлители забивают в землю так, чтобы их верх находился на расстоянии  $h_n = 0,8 \text{ м}$  от уровня поверхности земли, тем самым достигается более влажные и непромерзающие слои грунта (рисунок 6.1).

Оборудование работает под напряжением  $380 \text{ В}$  определяем, что по нормам для нашего случая допустимое сопротивление заземлителей  $R_z$  должно быть не более  $4 \text{ Ом}$ , удельное сопротивление грунта (суглинок) составляет  $\rho_r = 1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .

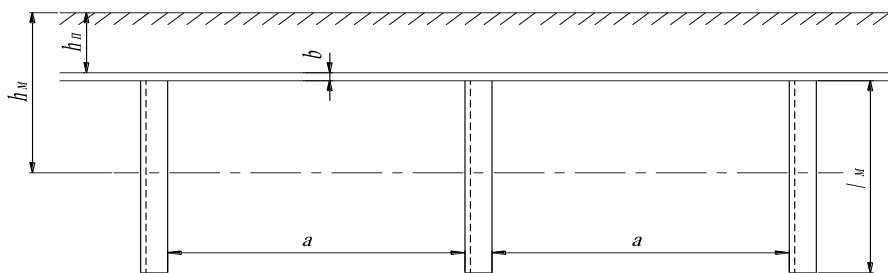


Рисунок 6.1 - Схема устройства искусственного заземления

Учитывая возможное промерзание грунта зимой и просыхания летом, определяем расчетные значения удельного сопротивления грунта для полосы  $\rho_{п.}$  и для электродов  $\rho_{э}$  по формулам [15]:

$$\rho_{п.} = \rho \cdot K_n, \quad (6)$$

$$\rho_{э} = \rho \cdot K_{э}, \quad (7)$$

где  $K_n$  и  $K_{э}$  – повышающие коэффициенты для соответствующей климатической зоны.

Для города Томска  $K_n = 1,9$  и  $K_{э} = 4,5$ .

$$\rho_{п.} = 1 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 1,9 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см},$$

$$\rho_{э} = 1 \cdot 10^4 \cdot 4,5 = 4,5 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Сопротивление одного электрода определяем по формуле [15]:

$$R_{э} = \frac{\rho_{э}}{2\pi \cdot l_{м}} \left( \ln \cdot \frac{2 \cdot l_{м}}{d} + 0,5 \cdot \ln \cdot \frac{4 \cdot h_{м} + l_{м}}{4 \cdot h_{м} - l_{м}} \right), \quad (8)$$

где  $l_{м}$  – длина электрода, см;  $l_{м} = 300$  см;

$d$  – диаметр электрода, см<sup>2</sup>;

$h_{м}$  – глубина заложения электрода, см;  $h_{м} = 230$  см.

При использовании электрода из уголкового стали диаметр электрода определяют по формуле [15]:

$$d = 0,95 \cdot e, \quad (9)$$

где  $e$  – ширина полки уголка, см;

$$d = 0,95 \cdot 6 = 5,7 \text{ см}^2,$$

$$R_{э} = \frac{1,9 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 300} \left( \ln \cdot \frac{2 \cdot 300}{5,7} + 0,5 \cdot \ln \cdot \frac{4 \cdot 230 + 300}{4 \cdot 230 - 300} \right) = 50,35 \text{ Ом}$$

Потребное число заземлителей определяем по формуле:

$$n = \frac{R_{э}}{r_{э}}, \quad (10)$$

$$n = \frac{50,35}{4} = 12,58 \text{ шт},$$

принимаем  $n=12$  шт.

При расположении электродов в ряд длина соединительной полосы определяется по формуле [15]:

$$l_n = a \cdot n, \quad (11)$$

где  $a$  – расстояние между электродами, см;  $a = 900$  см.

$$l_n = 900 \cdot 12 = 10800 \text{ см.}$$

Сопротивление соединительной полосы вычисляют по формуле:

$$R_n = \frac{P_n}{2 \cdot \pi \cdot l_n} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_n^2}{h_n \cdot b}, \quad (12)$$

$$R_n = \frac{4,5 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 10800} \cdot \ln \frac{2 \cdot 10800^2}{80 \cdot 1,2} = 9,75 \text{ Ом.}$$

Результирующее сопротивление системы заземления вычисляют по формуле:

$$R_c = \frac{R_\varepsilon \cdot R_n}{R_\varepsilon \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_\varepsilon \cdot n}, \quad (13)$$

где  $\eta_n$  – коэффициент использования полосы;  $\eta_n = 0,76$  ;

$\eta_\varepsilon$  – коэффициент использования электродов;  $\eta_\varepsilon = 0,81$  .

$$R_c = \frac{50,35 \cdot 9,75}{50,35 \cdot 0,76 + 9,75 \cdot 0,81 \cdot 12} = 3,62$$

Таким образом, общее сопротивление защитного заземления не превышает допустимого по нормам.

#### **6.1.4 Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны**

В процессе проведения сварочных работ выделяются разнообразные примеси, основными из которых являются твердые частицы и газы. Основными компонентами пыли при сварке оказываются окислы железа, марганца, хрома, кремния, фтористые и другие соединения. Наиболее вредными веществами, которые входят в состав покрытия и металла проволоки является хром, марганец и фтористые соединения. Воздух в рабочей зоне сварщика также загрязняется вредными газами окиси углерода.

Удаление вредных газов и пыли из зоны сварки, а также подача чистого воздуха осуществляется вентиляцией. Значения ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в таблице 31 согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.



Таблица 6.1 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ, которые выделяются в воздухе при сварке металлов

Название	Вещество ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>
Твердая составляющая сварочного аэрозоля	
Марганец (при его содержании в сварочном аэрозоле до 20%)	0,2
Железа оксид	6,0
Кремний диоксид	1,0
Хром (III) оксид	1,0
Хром (VI) оксид	0,01
Газовая составляющая сварочного аэрозоля	
Азот диоксид	2,0
Марганец оксид	0,3
Озон	0,1
Углерода оксид	20,0
Фтористый водород	0,5/1,0

Очистка воздуха от пыли (аэрозолей) осуществляется с помощью специального оборудования различных конструкций в зависимости от размеров частиц пыли: грубая очистка (10 ... 50 мкм), среднее (более 1 мкм) и тонкие (менее 1 мкм). Для этого применяются циклоны и пылеосадительные камеры, принцип действия которых основан на использовании сил тяжести и инерции; волокнистые (тканевые) и рукавные, изготовлены из натуральных материалов (хлопок, лен, шерсть) и синтетических (полиамидные, полипропиленовые и другие волокна); ротационные пыле образователями (в виде радиальных вентиляторов); электрофильтры, улавливающие аэрозоли за счет подзарядки их частиц в электрическом поле и дальнейшем осаждения.

Для улавливания сварочных аэрозолей в системах вентиляции и фильтровентиляционных агрегатах применяются электростатические, тканевые, бумажные и комбинированные фильтры.

### **6.1.5 Ожоги при сварочных работах**

Образующиеся при дуговой сварке расплавленный металл имеет температуру до 1800 градусов Цельсия, в случае попадания на кожу искр, шлака и брызг раскаленного металла возможны тяжелые ожоги.

Для предотвращения ожогов при сварке, попадания искр и капель расплавленного металла, необходимо применять спец одежду: специальный костюм сварщика или брезентовый костюм, имеющий соответствующую маркировку «Тр»; рукавицы брезентовые или кожаные типа «Е» с защитными свойствами «Тр»; кожаные ботинки с маркировкой «Тр»; защитные очки, маски; предохранительный пояс.

Излучение электрической дуги вызывает ослепление глаз и может привести к ожогу сетчатки глаз, т.е. их воспалению. Однако излучение может также привести к ожогам кожи и явлениям, схожим с солнечным ожогом. Учитывая это, сварщик обязан защитить себя соответствующей защитной одеждой и щитком с соответствующими защитными фильтрами по стандартам EN 166 и EN 169. В качестве защитного фильтра следует использовать фильтры ступеней от 9 (для тонких электродов и низкой силы тока) до 14 (для толстых электродов и высокой силы тока).

### **6.1.6 Пожаровзрывоопасность**

В ходе работ по разработке технологии свариваемости материалов, в результате пренебрежения правилами пожарной безопасности может произойти возгорание строительных материалов, ветоши и других материалов. Для успешного проведения противопожарной профилактики важно знать основные причины пожаров. На основе статистических данных можно сделать вывод, что основными причинами пожаров являются:

- неосторожное обращение с огнем;

- неудовлетворительное состояние электротехнических устройств и нарушения, правил их монтажа и эксплуатации;
- нарушение режимов технологических процессов;
- неисправность отопительных приборов столько нарушение правил их;
- невыполнение требований нормативных документов по вопросам пожарной безопасности.

### **6.1.6.1 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории  $A_n$ ,  $B_n$ ,  $B_n$ ,  $G_n$  и  $D_n$ .

Согласно НПБ 105-03 сварочная лаборатория относится к категории «А» - повышенная взрывопожароопасность.

Сварочная лаборатория, рассматриваемая в данной работе, относится к категории «А»- повышенная взрывопожароопасность.

Таблица 6.2 – Категория помещения по уровню пожаровзрывоопасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А повышенная взрывопожаро- опасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное



	давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
--	---

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара персонал должен немедленно принять необходимые меры для его ликвидации, одновременно оповестить о пожаре администрацию. Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2 или ОУБ-3. На стене рядом с местом расположения огнетушителя должна находиться таблица с номерами телефонов экстренного вызова местной и городской пожарной команды.

В качестве дополнительных мер по предотвращению пожаров предлагается использовать автоматизированные системы оповещения и пожаротушения.

## **6.2 Экологическая безопасность**

### **6.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Во всех офисных и лабораторных помещениях для освещения применяются люминесцентные лампы, которые представляют угрозу окружающей среде и должны быть правильно утилизированы. По мимо этого, в процессе сварочных работ загрязняется воздух рабочей зоны и остаются металлические отходы.

### **6.2.2 Мероприятия по защите окружающей среды**

Хранение люминесцентных ламп должно осуществляться в помещении, которое отдельно расположено от мастерских и лабораторий корпуса. Оно должно соответствовать требованиям правил хранения токсичных отходов и санитарных норм. В нем должна быть налажена система вентиляции.

Полы в помещении должны быть изготовлены из водонепроницаемого материала, который препятствует попаданию вредного металла в окружающую среду. На случай аварийной ситуации в помещении для хранения ламп дневного света должно быть не менее 10 литров воды и запас марганцевого

калия.

Отработанные люминесцентные светильники должны быть помещены в плотную тару. В роли ее могут выступать картонные коробки, коробки из ДСП, фанеры, бумажные или полиэтиленовые мешки. В одной картонной коробке должно быть не более 30 единиц продукции. Емкости должны быть расставлены на стеллажах, чтобы обезопасить их от любого механического воздействия. На каждой из них должна быть надпись «Отход 1 кл. опасности. Отработанные люминесцентные лампы».

На сварочных участках существуют контейнеры. В них сваливают весь мусор, что накапливается за весь рабочий день. Существуют 2 вида контейнеров: для обычных отходов, и для металлических отходов. По мере заполнения контейнеров, их вынимают при помощи автопогрузчика и вывозят обычные отходы на свалку, металлические отходы на дальнейшую переработку.

### **6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы

и в действительности. В этом случае действия персонала, должны быть определены следующими мерами защиты [38]:

- обнаружение поражающих факторов;
- оповещение персонала об опасности;
- защиту оборудования от воздействия поражающих факторов;
- эвакуацию персонала и материальных ценностей из зон опасности;
- использование средства коллективной защиты персоналом;
- использование персоналом средств индивидуальной защиты (СЗОД, СЗК, МСЗ).

Выводы из анализа по данному этапу:

- используются кнопки аварийного оповещения персонала;
- для защиты оборудования производится останов и обесточивание;
- для защиты персонала необходимо: установить систему сигнализации с выводом в диспетчерскую; установить систему оповещения персонала (по радио) и т.д.
- персонал должен быть обеспечен СИЗ (противогазы).
- помещения должны быть оборудованы планом эвакуации с указателями направления аварийных выходов и расположением средств пожаротушения.

[38]

Из выше проведенного анализа следует, что помещения инженера соответствует нормам ГО и ЧС. Оборудовано в полной мере средствами индивидуальной и коллективной защиты. В качестве дополнительной защиты производить систематический инструктаж с проверкой знаний по технике безопасности, предупреждения и действия персонала при чрезвычайных ситуациях, с записью в журналах инструктажа.

#### **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Для работы инженера актуальным вопросом правового обеспечения безопасности является защита интеллектуальной собственности и защита информации.

Проблема защиты прав интеллектуальной собственности и противодействие таким деяниям носит комплексный характер, что обусловлено следующими причинами:

1. Правонарушения происходят не только в сети Интернет, но и других информационно-телекоммуникационных сетях, к которым, в частности, относятся сети подвижной радиотелефонной связи.

2. С использованием таких сетей совершаются самые различные правонарушения:

- плагиат;
- незаконная торговля объектами прав интеллектуальной собственности;
- торговля контрафактной продукцией через Интернет-магазины.

3. Объектами правонарушений являются самые различные объекты прав интеллектуальной собственности.

4. Правонарушения носят транснациональный характер.

5. Рассматриваемые правонарушения зачастую сопровождаются другими опасными деяниями: распространение вредоносных программ, нарушение правил обработки персональных данных, распространение спама и других.

Из проведенного анализа выше перечисленных проблем защиты прав интеллектуальной собственности на рабочем месте инженера предлагаются следующие методы защиты информации:

- использование не лицензированного программного обеспечения на предприятии влечет административную или уголовную ответственность;

- импорт, тиражирование, продажа, а также иное введение в гражданский оборот экземпляров программ без разрешения их правообладателей является нарушением авторского права.

- программы для ЭВМ и базы данных относятся Законом к объектам авторского права. Программам для ЭВМ предоставляется правовая охрана.

В нашем случае на рабочем месте инженера используются лицензированное программное обеспечение, персонал инструктирован об ответственности за использование, продажу или распространение

конфиденциальной информации предприятия. В качестве дополнительных средств защиты информации предлагается использовать пароли и ограниченный доступ.

## **Заключение**

Итогом выполнения выпускной квалификационной работы стали следующие результаты:

1. Знакомство с методами компьютерного моделирования по двум моделям электронно-лучевой сварки: тепловой и газопаровой, с учетом распределения остаточных напряжений. Расчеты, проведенные по тепловой модели, показали, что эта модель пригодна для анализа тепловых процессов только при нанесении покрытий при ЭЛС и для моделирования сварочной ванны аргодуговой сварки. Газопаровая модель, построенная с учетом остаточных напряжений после охлаждения сварочного соединения, позволяет прогнозировать, с удовлетворительной точностью, режимы и качество сварного соединения.

2. По результатам компьютерного эксперимента проведена серия физических экспериментов, подтвердившая удовлетворительную точность и эффективность модельных расчетов на стадии подготовки физического эксперимента. Результаты физического эксперимента показали перспективность применения электронно-лучевой сварки для получения неразъемных соединений композиционных материалов на основе железа и алюминия.

3. Для многослойных композитов применение лучевой сварки может быть предпочтительней, чем применение аргодуговой сварки.

4. Экономический анализ конкурентных технических решений показал, что по наибольшим техническим критериям оценки ресурсоэффективности лазерная сварка превосходит электронно-лучевую и дуговую микросварку. В тоже время качество сварного шва лучшее при электронно-лучевой сварке.

Наибольшие общие экономические критерии оценки ресурсоэффективности отмечаются, также, у лазерной сварки, за счет более

низкой цены, по остальным показателям, электронно-лучевая сварка имеет лучшие оценки ресурсоэффективности.

Проведенный SWOT – анализ в целях выявления слабых и сильных сторон электронно-лучевой сварки показал, что ее применение целесообразно, за счет развития новых технологий и она экономически эффективна в единичном, мелкосерийном производстве.

5. ЭЛС, в сравнении с другими видами сварки, имеет ряд существенных преимуществ: весь процесс происходит в камере – исключено попадание брызг металла на спецодежду, кожу, отсутствует прямое воздействие аэрозолей и паров на органы дыхания, глаза защищены от светового излучения сварочной ванны (за процессом сварки можно наблюдать через смотровое окно камеры и по монитору компьютера), чистота в помещении (все продукты горения оседают на стенках камеры). Рассматривая данный способ с точки зрения безопасности жизнедеятельности, можно отметить его как наиболее безопасный, ввиду наименьшего воздействия на организм человека вредных производственных факторов.

## Список использованных источников

1. Ковтунов А.И., Чермашенцева Т.В., Гладуняк В.В. Исследование процессов аргонодуговой сварки сталей, покрытых алюминием, с медной присадочной проволокой//Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 1. С. 39-43.
2. Кректулева Р.А., Безгинов Р.О., Черепанов Р.О., Черепанов О.И. Исследование теплофизических процессов в контактирующей паре материалов ст3-а1 при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом//Физическая мезомеханика. 2015. Т. 18. № 3. С. 92-100.
3. Кректулева Р.А., Черепанов О.И., Черепанов Р.О. Численное моделирование термомеханических процессов в зоне сварного шва плакированных сталей на стадии остывания// Физическая мезомеханика. 2012. Т. 15. № 3. С. 71-78.
4. Numerical modeling of electron-beam welding of dissimilar metals  
R. A. Krektuleva, O. I. Cherepanov, and R. O. Cherepanov// Weld. Int. 277, 540–544 (2013)
5. Технологии и оборудование ЭЛС - 2008// Материалы Первой Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции 19–22 мая 2008 года
6. Саломатова е. С. Закономерности изменения химического состава сварных соединений при электронно-лучевой сварке с динамическим воздействием на электронный луч// автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Екатеринбург – 2016
7. Климова О.Г., Туричин Г.А., Лопота В.А., Шамшурин А.И., Сизова И.А. Особенности структуры металла сварных соединений при электронно-лучевой сварке разнородных материалов// Научно-технические ведомости



- Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2013. № 171. С. 125-132.
8. Саломатова Е.С., Трушников Д.Н., Цаплин А.И. Моделирование процессов испарения при электронно-лучевой сварке с динамическим позиционированием электронного пучка// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 6-2. С. 124-134.
  9. Кректулева Р.А., Батрагин А.В., Бежин О.Н. Применение программного обеспечения MEZA для оценки дефектности сварных соединений на стадии проектирования // Сварка и диагностика. 2009 № 2.- 42с.
  10. Кректулева Р.А., Безгинов Р.О., Фролов А.И. Возможности САПР технологических процессов сварки на основе программного обеспечения «MEZA»// Сборник: Современные проблемы машиностроения Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции. под редакцией А.Ю. Арляпова, А.Б. Кима; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2013. С. 191-195.
  11. Туричин Г.А., Валдайцева Е.А., Климова О.Г., Хассель Т., Беньяш А., Мюррэй Н., Майер Х.Ю. Механизмы влияния динамических процессов при высокоскоростной лазерной, лазерно-дуговой и электронно-лучевой сварке на формирование дефектов сварных швов// Сварка и диагностика. 2015. № 3. С. 23-27.
  12. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки 2003.- 560 с.
  13. Туричин Г.А. Физика взаимодействия излучения с веществом. Основы физики генерации технологических электронных пучков и их взаимодействие с веществом // Санкт-Петербург, 2015.
  14. Олышанская Т.В. Особенности кристаллизации сварных швов из разнородных материалов при электронно-лучевой сварке на примере высокохромистой стали с бронзой// Вестник Пермского национального

- исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2014. Т. 16. № 3. С. 43-53.
15. Трушников Д.Н. и Изучение физических процессов при электронно-лучевой сварке по параметрам вторичного тока в плазме// Физика и химия обработки материалов. 2014. № 5. С. 36-45.
  16. Трушников Д.Н. рРеконструкция формы канала проплавления при электронно-лучевой сварке с осцилляцией луча//Сварка и диагностика. 2014. № 1. С. 32-37.
  17. Лопота В.А., Туричин Г.А., Валдайцева Е.А., Дилтей У., Гуменюк А. Исследование и моделирование формирования интерметаллических включений при лазерной обработке Al-Mg сплавов//Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2004. Т. 47. № 10. С. 39-44.
  18. Саломатова Е.С., Трушников Д.Н., Беленький В.Я. Моделирование температуры в парогазовом канале при электронно-лучевой сварке// Тепловые процессы в технике. 2013. № 11. С. 514-518.
  19. Кректулева Р.А., Мишин М.А., Черепанов О.И., Черепанов Р.О. Оценка достоверности численной модели теплофизических процессов при tig-сварке разнородных материалов// В сборнике: Иерархически организованные системы живой и неживой природы Материалы Международной конференции. . 2013. С. 286-289.
  20. Саломатова Е.С. Электронно-лучевая сварка – от изобретения до наших дней//Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2013. Т. 15. № 1. С. 57-62.
  21. Шоршоров М.Х., Белов В.В. Фазовые превращения и изменение свойств стали при сварке 1972.-218с.
  22. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений 1989.- 326 с.
  23. Маслов В.И. Сварочные работы. - М., 2008.- 368 с.

24. Абрютин М.С., Анализ финансово-экономической деятельности предприятия учеб. – практ. Пособие. – М.: Дело и сервис 2000. – 256 с.
25. Анализ финансовой отчетности учеб. пособие для вузов под ред. О.В. Ефимовой. – М.: Омега-Л, 2006. – 449 с.
26. Арутюнов Ю.А., Финансовый менеджмент: теория и практика М.: Проспект 2008. – 1024 с.
27. Бланк И.А. Управление финансовой безопасностью предприятия. – Киев: Эльга; Ника-Центр, 2006. – 776 с.
28. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
29. Бригхем Ю., Финансовый менеджмент полный курс: в 2 т. Т. 1., пер. с англ. Под ред. В.В. Ковалева. – СПб.: Эконом. шк. – 2000. -497 с.
30. Гусева И.Б. Управление затратами в системе контроллинга. // Финансы. – 2005. - №12. – с.69.
31. Ионова А.Ф. Анализ финансово-хозяйственной деятельности организации. – М.: Бух. Учет, 2005. – 310 с.
32. Карасева И.М., Финансовый менеджмент учеб. пособие. – М.: Омега-Л, 2006. – 335 с.
33. Ковалев В.В., Финансовый менеджмент: теория и практика. – М.: Проспект, 2008. – 1024 с.
34. Негашев Е.В., Анализ финансов предприятия учеб. пособие. – М.: Высш. шк.2001 – 192 с.
35. Основы экономики и управления учеб. пособие для вузов под ред. Н. Кожевникова. – М.: Академия, 2003. – 272 с.
36. Остапенко В.В., Финансы предприятия учеб. пособие. – М.: Омега-Л, 2007. – 301 с.
37. Пястолов С.М. Экономический анализ деятельности предприятий учеб. пособие для вузов. – М.: Академ. проект, 2004. – 576 с.
38. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.

39. Савицкая Г.В., Анализ хозяйственной деятельности предприятия учебник. – М.: Инфра-М 2004. – 424 с.
40. Сергеев И.В. Экономика предприятия: учеб. пособие для вузов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 304 с.
41. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.003-2015 "Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июня 2016 г. N 602-ст)
42. Государственный стандарт СССР ГОСТ 12.1.005-88 "Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" (утв. постановлением Госстандарта СССР от 29 сентября 1988 г. N 3388) (с изменениями и дополнениями)
43. Государственный стандарт СССР ГОСТ 22269-76 "Система "человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования" (введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 22 декабря 1976 г. N 2798)
44. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 12.1.019-2009 "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты" (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2009 г. N 681-ст)
45. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 12.1.009-2009 "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения" (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2009 г. N 682-ст)
46. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (зарегистрированы в Минюсте России 10.06.2003, регистрационный N 4673.).
47. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.003-2014 "Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности" (введен в действие

приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2014 г. N 2146-ст)

48. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания / Сост. О.Б. Назаренко. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 15 с.
49. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: Учеб. пособие для вузов / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н. Л. Пономарев и др. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2004. – 319 с.
50. Охрана окружающей среды: Учеб для техн. вузов / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др.; Под ред. С.В. Булова, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
51. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21 июня 2016 г. N 81 «Об утверждении СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»