



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(институт, факультет)

СВАРКА, ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ  
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой: Ельцов В.В.

(подпись)(И.О.Фамилия)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение бакалаврской работы**

Студент: Острянко Алексей Михайлович

1. Тема: Исследование процессов формирования и свойств композиционных алюминий-свинцовых сплавов

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы  
16 июня 2016 года

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе  
литературные данные, данные нормативной документации

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов): 1. Актуальности темы дипломного проекта. 2. Анализ проблемы получения алюминий-свинцовых сплавов. 3. Анализ способов получения пеноалюминия. 4. Выбор методик проведения исследований. 5. Исследование физико-химических свойств композиционного материала. 6. Выбор материала и способа нанесения переходного слоя. 7. Исследование процессов формирования переходного слоя. 8. Безопасность и экологичность технического объекта. 9. Экономическое обоснование НИР.

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала: 1. Диаграмма состояния алюминий-свинец-1 лист, 2. Анализ способов получения алюминий-свинцовых сплавов-1 лист, 3. Плакат методик исследования-1-2 листа, 4. Плакат результатов исследования физико-механических свойств материала-1-лист, 5. Плакат результатов исследования процессов формирования переходных слоев-1-2 листа, 6. Плакат экономического обоснования НИР-1 лист.

6. Консультанты по разделам: Экономическая эффективность Краснопевцева И.В.,  
Безопасность и экологичность технического объекта Резникова И.В.

7. Дата выдачи задания « 17 » февраля 2016 г.

Руководитель бакалаврской работы

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Ковтунов А.И.  
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Острянко А.М.  
(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

(институт)

Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы

(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой «СОМДиРП»

В.В. Ельцов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

«    »      20     г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**  
**выполнения бакалаврской работы<sup>1</sup>**

Студента Острянко Алексея Михайловича

по теме Исследование процессов формирования и свойств композиционных  
алюминиево-свинцовых сплавов

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение; 1. Проблемы получения алюминиево-свинцовых сплавов	29.02.2016	26.02.2016	Выполнено	
2. Методики проведения исследований и экспериментов	10.03.2016	10.03.2016	Выполнено	
3. Исследование физико-механических свойств композиционного материала	25.03.2016	25.03.2016	Выполнено	
4. Исследование процессов формирования и нанесения переходных слоев	14.04.2016	12.04.2016	Выполнено	

<sup>1</sup> Бакалаврской работы, дипломной работы, дипломного проекта

5. Безопасность и экологичность технического объекта; 6. Экономическое обоснование проекта	16.05.2016	18.05.2016	Выполнено	
Графическая часть	10.06.2016	10.06.2016	Выполнено	

Руководитель бакалаврской работы

\_\_\_\_\_  
(подпись) А.И. Ковтунов  
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(подпись) А.М. Острянко  
(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

В бакалаврской работе раскрыта актуальность изготовления композиционных алюминиево-свинцовых сплавов. За основу взяты технологии и научные разработки в области изготовления композиционных материалов.

В работе рассматриваются вопросы выбора способа получения алюминиево-свинцовых сплавов, исследования процессов формирования физико-механических свойств композиционных алюминиево-свинцовых сплавов. Также выявлены опасные и вредные факторы при изготовлении сплавов. Приведено экономическое обоснование научно-исследовательской работы.

Пояснительная записка выполнена на 82 страницах с 33 рисунками и 23 таблицами. Графическая часть включает в себя 9 листов формата А1.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
1 ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВО-СВИНЦОВЫХ СПЛАВОВ .....	10
1.1 Способы получения сплавов Al-Pb для подшипников скольжения .....	10
1.2 Существующие способы получения пеноалюминия .....	15
1.3 Производство пеноалюминия путем фильтрации жидкого расплава через водорастворимые соли .....	19
2 МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ.	23
2.1 Методика исследования процессов формирования композиционных подшипников из сплавов Al-Pb .....	23
2.2 Методика исследования механических и физических свойств сплавов Al-Pb .....	24
2.3 Исследование химического состава переходного слоя.....	30
2.4 Методика нанесения никелевого переходного слоя .....	30
2.5 Методика нанесения цинкового переходного слоя.....	31
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА .....	33
3.1 Прочность на сжатие .....	33
3.2 Плотность.....	35
3.3 Износостойкость .....	36
3.4 Коэффициент трения .....	37
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ СЛОЕВ.....	38
4.1 Нанесение никелевого переходного слоя.....	38
4.2 Нанесение цинкового переходного слоя .....	41
5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ..	48
5.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта .....	48
5.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков .....	49
5.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков	51

5.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов).....	53
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта .....	55
6 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	59
6.1 Расчет трудоемкости проведения НИР .....	59
6.2 Сетевое планирование проведения НИР .....	66
6.3 Расчёт себестоимости проведения НИР .....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	80

## ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении широкое распространение имеют подшипники скольжения. Подшипники скольжения применяют в изготовлении двигателей внутреннего сгорания, паровых и газовых турбинах, насосах, компрессорах, центрифугах, тяжелых редукторах и других машинах.

Особое внимание заслуживают подшипники скольжения, изготовленные из алюминиевых сплавов, а именно из сплавов, содержащих в качестве мягкой основы свинец. Такие сплавы имеют ряд преимуществ: высокие противозадирные свойства, недефицитность, экономичность. Однако данные сплавы сложны в получении. Обычными методами литья невозможно получить равномерное распределение более 1% свинца из-за его малой растворимости в расплавленном металле.

Наиболее эффективным методом устранения данной трудности является гранулирование алюминиево-свинцовых сплавов, которое позволяет получить высокое содержание свинца в сплаве. Недостатком данного метода является достаточная сложность и дороговизна процесса получения гранул.

Для преодоления вышеописанных трудностей была предложена технология, сущность которой заключается в предварительном изготовлении заготовок из пеноалюминия и последующей пропитке заготовок свинцом.

Таким образом, целью данной работы является повышение эксплуатационных свойств алюминиево-свинцовых подшипников скольжения за счет исследования процессов и разработки технологии формирования композиционных подшипников пеноалюминий-свинец.

# 1 ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВО-СВИНЦОВЫХ СПЛАВОВ

## 1.1 Способы получения сплавов Al-Pb для подшипников скольжения

Сплавы Al-Pb относятся к сплавам монотектических систем, получение которых в сравнительно большом объеме традиционными методами литья невозможно из-за расслаивания сплава в процессе его охлаждения и кристаллизации [2].

На рис. 1 приведена диаграмма состояния сплавов алюминий — свинец с нанесенными на нее точками для сплава алюминия с 15% Pb.

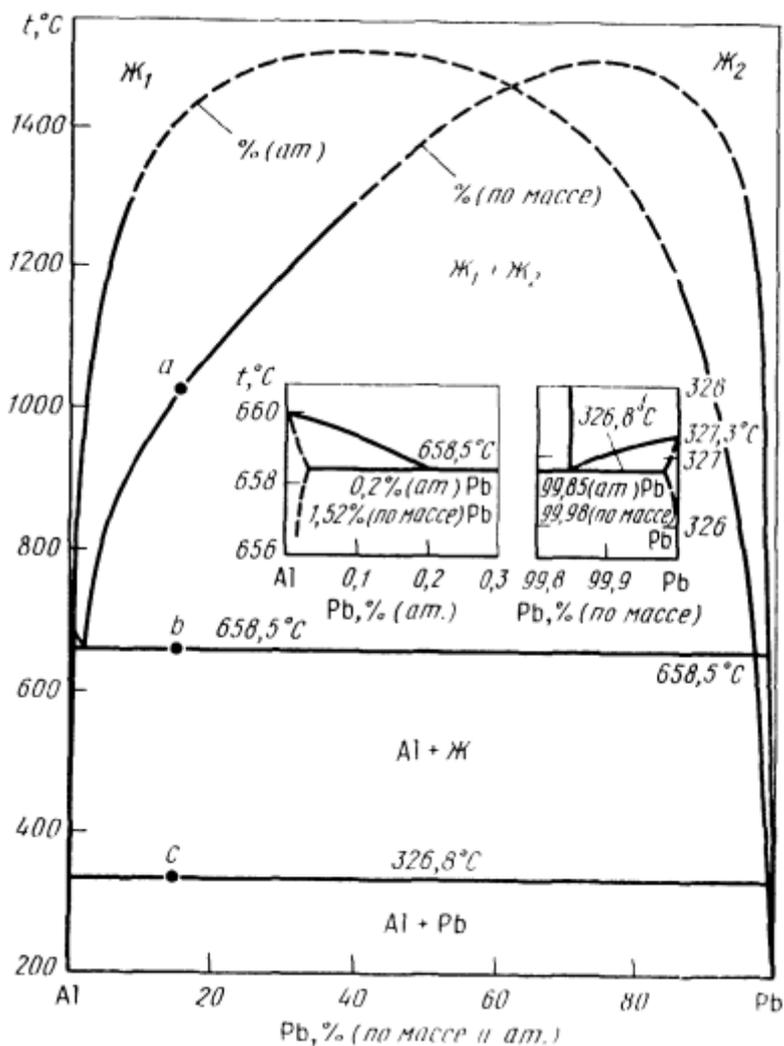


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы Al-Pb

При понижении температуры до точки *a* сплав охлаждается в гомогенном жидком состоянии. При температурах между точками *a* и *b* происходит расслаивание сплава на две жидкие фазы Ж<sub>1</sub> и Ж<sub>2</sub>, причем состав каждой из фаз меняется вследствие диффузионного взаимодействия между ними и к началу монотектической реакции (точка *b*) фаза Ж<sub>1</sub> содержит 1,5% Pb, а фаза Ж<sub>2</sub> – 0,18% Al. Соотношение фаз по массе примерно 86,6: 13,4. При температуре 658,5°C происходит монотектическое превращение Ж<sub>1</sub> → α + Ж<sub>2</sub>, после которого сплав состоит из двух фаз — твердого раствора свинца в алюминии (<0,2% Pb) и фазы Ж<sub>2</sub> (~0,18% Al). Фаза Ж<sub>2</sub> находится в двух структурных состояниях – в виде частиц, образовавшихся при расслаивании жидкости и в виде тонких прослоек жидкости, образовавшихся в процессе монотектической реакции. Соотношение α(Al):Ж<sub>2</sub> примерно 85,1:14,9. При дальнейшем охлаждении сплава от точки *b* до точки *c* из жидкой фазы Ж<sub>2</sub> выделяется небольшое количество α-фазы в соответствии с изменением растворимости по линии ликвидуса, а из α-фазы — небольшое количество жидкой фазы в соответствии с изменением растворимости по ретроградному солидусу. При температуре 326,8°C происходит эвтектическая реакция, в результате которой образуется твердая фаза β, содержащая около 0,02% Al. К частицам фазы α, содержащим очень небольшое количество свинца, добавляются более мелкие частицы такого же состава, образовавшиеся в результате эвтектической кристаллизации фазы Ж<sub>2</sub>. При охлаждении сплава от точки *c* до комнатной температуры должно происходить дальнейшее обеднение β-твердого раствора алюминия и α-твердого раствора свинцом и образование третичных частиц соответствующих фаз [2].

Таким образом, после завершения процесса охлаждения в равновесных условиях фазовый состав сплава алюминия с 15% Pb будет довольно простым: это практически чистые алюминий и свинец (α и β) в соотношении

85:15. Структура же сплава окажется довольно сложной. Для фазы, богатой свинцом, это первичные частицы и монотектические составляющие; вторичные выделения и продукты эвтектической кристаллизации; третичные выделения, образовавшиеся при охлаждении твердого раствора  $\alpha$  ниже температуры эвтектики. Для фазы, богатой алюминием, это эвтектическая составляющая (основа сплава), вторичные выделения при охлаждении от монотектической до эвтектической температуры, продукты эвтектической кристаллизации и третичные выделения вследствие распада  $\alpha$ -фазы при охлаждении ниже температуры  $326,8^\circ\text{C}$  [2].

Если выбрать сплав, содержащий менее 1,5% Pb, то в нем в отличие от сплава с 15% Al не будет первичных частиц, богатых свинцом, но будут присутствовать первичные кристаллы фазы  $\alpha$ , богатой алюминием [2].

Увеличить растворимость свинца в алюминии можно путем введения вместе со свинцом других элементов. Таким методом был разработан сплав АСС6-5, содержащий 6% Pb и 5% Sb. Сплав АСС6-5 склонен к расслаиванию свинца и, в связи с этим, широкого распространения не получил [3].

Процесс ликвации свинца в алюминиевых сплавах можно задержать путем охлаждения с высокими скоростями. На этом принципе основан метод бесслитковой прокатки алюминиево-свинцовых сплавов, при котором постоянно перемешиваемый металл подается на валики кристаллизатора. Таким методом достигается равномерное распределение без ликвации 5-6% свинца. Однако наличие такого количества свинца в сплаве не является достаточным для придания сплаву высокой задиристости [4].

Помимо проблемы, связанной с ликвацией свинца, алюминиево-свинцовые сплавы имеют низкую прочность. Для упрочнения в них вводят 1—2% меди, а для повышения коррозионной стойкости свинца в сплав вводят олово. Алюминиевые сплавы, имеющие в своем составе олово,

обладают высокой усталостной прочностью в сочетании с хорошими антифрикционными свойствами [1].

Известны способы получения равномерного распределения свинца в алюминиевых сплавах, когда перемешивание производят вибрационными методами. Этим способом достигается мелкодисперсное распределение свинца в виде включений размером 40-50 мкм [5].

Способ получения изделий прессованием гранулированного материала заключается в изготовлении гранул алюминиево-свинцового сплава путем литья в воду и последующем прессовании. Отливка гранул производится на установке, снабженной цилиндрическим стаканом с круглыми отверстиями. Во время заливки стакан вращается со скоростью 1500 об/мин, струя разбивается на капли, которые попадают в воду через отверстия. Кристаллизация капель происходит со скоростью охлаждения несколько тысяч градусов в секунду. К преимуществам способа можно отнести возможность получения алюминиево-свинцовых сплавов с содержанием свинца до 20%, свинец распределяется равномерно в гранулах в виде включений размером до 5 мкм [2].



Рисунок 2 – Гранулы Al-Pb

Для последующего получения заготовки из гранул могут быть применены два варианта прессования: на гидравлических и шнековых прессах. Полученные на гидравлических прессах полосы имели удовлетворительную поверхность, хорошо прокатывались как вдоль, так и поперек направления прессования. Однако после отжига при температуре 300—350°C в течение 3 часов имелись пузыри и расслоения. При отжиге полос, полученных прессованием на шнековом прессе, данных дефектов выявлено не было [2].

Недостатки способа гранулирования: высокая трудоемкость процесса, высокая стоимость оснастки и оборудования.

Фирмой «GeneralMotors» был разработан способ получения литых алюминиево-свинцовых заготовок для последующего их плакирования на сталь. Литые осуществляют полунепрерывным способом в горизонтально расположенные формы. При этом обеспечивается такая скорость охлаждения, которая дает возможность получать неравномерное распределение свинца по толщине слитка: до 7% Pb у рабочей поверхности и до 3% Pb у поверхности, подлежащей сцеплению со сталью. Такое количество свинца у рабочей поверхности не может обеспечить достаточных антифрикционных свойств [1].

Помимо разработки способа получения алюминиево-свинцовых заготовок, фирмой «GeneralMotors» были проведены испытания алюминиевого сплава SAE781, содержащего 8% свинцовистого баббита. По данным фирмы, данный сплав по коррозионной стойкости превосходит свинцовистые бронзы, а по задиростойкости превосходит алюминиево-оловянные сплавы [1].

Учитывая трудности и недостатки вышеописанных способов, была предложена технология получения сплава Al-Pb путем изготовления заготовки из пеноалюминия и последующей пропитки заготовки свинцом.

## 1.2 Существующие способы получения пеноалюминия

Пеноалюминий – ячеистый материал с открытой и закрытой пористостью, размер пор может изменяться от долей миллиметра до 20–30 мм и более. Плотность пеноалюминия регулируется в пределах от 1,5 до 0,3 и менее г/см<sup>3</sup>. Пеноалюминий сохраняет все достоинства исходного металла – коррозионную стойкость, свариваемость, хорошую обрабатываемость, высокую удельную прочность. Также пеноалюминий приобретает новые свойства: эффективно поглощает энергию удара, имеет высокий коэффициент звукопоглощения, пониженную теплопроводность, масса изделий из пеноалюминия не превышает массу изделий из пластмасс.

Одним из традиционных способов получения пеноалюминия является использование газа в качестве загустителя расплава. Пеноалюминий получают замешиванием в расплав алюминия газа (азота, аргона, воздуха, углекислого газа, водяного пара) или высокодисперсного порошка вещества, обладающего температурой плавления более высокой, чем у алюминия, который увеличивает вязкость расплава.

Преимуществом способа является низкая стоимость компонентов, возможность получения фасонных изделий, не загрязняет окружающую среду.

Недостатком способа является малая дисперсия пузырьков и пористость, обусловленные способом ввода загущающего газа, основанном на относительном движении газа в расплаве, что приводит к неустойчивости системы. Кроме того, загущающий газ выносит на свободную поверхность расплава часть вспенивающего газа, что увеличивает расход порообразующего вещества.

Известен так же способ получения пеноалюминия, включающий увеличение вязкости расплава легированием металлическим кальцием при весовом отношении к расплаву 0,2–8% вспенивание расплава замешиванием порошкообразного гидрида титана при весовом отношении 1–3% охлаждение образующего пористого расплава до затвердевания.

Преимуществом данного способа является, высокая производительность процесса и невысокая стоимость оборудования и оснастки.

Недостатком способа является малая и нерегулируемая дисперсия пузырьков, обусловленная природой процесса термического разложения гидрида титана с выделением газа при перемешивании, а также высокая стоимость металлического кальция и гидрида титана.

Наибольшее распространение получила разработанная Институтом Фраунгофера порошковая технология производства пеноалюминия. В качестве исходного материала используются порошки алюминия или алюминиевых сплавов, которые смешиваются с порофором (веществом, при нагреве выделяющим газовую составляющую), например гидридом титана. Доля порофора незначительна и составляет, как правило, менее 1%.

Подготовленная смесь уплотняется путем горячего прессования. Предварительная заготовка имеет вид прутка или профиля. Заготовка внешне не отличается от обычного металла и может в дальнейшем деформироваться в полуфабрикат прокаткой или прессованием в зависимости от вида конечного вспененного изделия. Полученный полуфабрикат подвергается операции вспенивания путем нагрева до температуры, близкой к температуре плавления используемого сплава. В этих условиях выделяющийся в результате термического разложения порофора газ образует в металле пенную структуру. После достижения желаемого увеличения объема процесс заканчивается охлаждением материала, и пенная структура стабилизируется. При этом образуются закрытые поры. Плотность пеноалюминия может составлять от 0,4 до 1 г/см<sup>3</sup>.

Преимуществом данного способа является возможность получения фасонных изделий и рециклируемость: материал может быть использован полностью вновь, как обычные литые детали.

Существуют следующие недостатки: сложность в приготовлении смеси, возникает затруднение в уплотнении смеси, процесс довольно сложный.

Не менее распространенный способ состоит в заливке капсулы с наполнителем расплавленным металлом. После удаления наполнителя остается тело с открытыми порами, соединенными между собой. Путем выбора наполнителя можно варьировать плотность материала и морфологию пор в широких пределах.

Преимущество способа: исходные материалы сравнительно недороги как наполнитель, так и алюминий, который может использоваться в виде низкосортных ломов и отходов, рециклируемость: материал может быть использован полностью вновь, как обычные литые детали, могут быть изготовлены сочлененные структуры: при литье в одном цикле возможно прочное соединение пористых и сплошных материалов, возможность придания изделию конечной формы.

Недостатком данного способа является негативное воздействие на окружающую среду, остаток наполнителя в порах, неоконченное заполнение промежутков между частицами наполнителя.

Существует еще один способ получения пеноалюминия, включающий получение расплава алюминиевого сплава путем получения расплава алюминия, введения в него магния в количестве 45-55% требуемого содержания в готовом сплаве, интенсивного перемешивания полученного расплава в течение 8-10 минут при температуре не выше температуры ликвидуса полученного сплава и введения остальных компонентов и магния, затем проводят непрерывное литье расплава алюминиевого сплава с одновременным введением в него порофора, деформацию слитка и его

термообработку. Техническим результатом изобретения является то, что способ получения пеноалюминия, позволяет получить качественный плотный слиток благодаря предотвращению вспенивания расплава до затвердевания слитка, что позволяет эффективно деформировать слиток под давлением. Минусом данного способа является сложность процесса получения пеноалюминия.

Также известен способ, при котором непрерывно осуществляют приготовление расплавленного композиционного металлического материала, содержащего металлическую матрицу и тонкоизмельченные упрочняющие частицы, вспенивают расплав для образования пор путем подачи в расплав газа и накапливают полученный пенометалл на поверхности расплава. Расплавленный металлический композиционный материал можно получать расплавлением композиционного материала с металлической матрицей или добавкой и распределением упрочняющих частиц в расплавленном металле или сплаве при помощи активного газа. В качестве активного газа можно использовать двуокись углерода, а в качестве упрочняющих частиц – огнеупорные частицы. Расплавленным композиционным материалом может быть матрица из алюминия или алюминиевого сплава, упрочненная керамическими или интерметаллическими частицами. Недостатком описанного способа также является сложность процесса и его трудоемкость.

В данной работе будем применять способ производства пеноалюминия путем фильтрации жидкого расплава через водорастворимые соли.

### 1.3 Производство пеноалюминия путем фильтрации жидкого расплава через водорастворимые соли

Сущность данного способа заключается в том, что перегретый алюминиевый расплав заливают в форму, заполненную гранулами из водорастворимых солей. После затвердевания слиток вынимают из формы и помещают в воду для удаления солей [13].

Водорастворимые соли для производства пеноалюминия должны соответствовать следующим критериям:

- 1) Температура плавления соли должна быть выше температуры заливки сплавов, т.е выше температуры 680-750°C;
- 2) Плотность соли при температуре заливки должна быть больше плотности алюминиевого расплава  $\rho > 2,3 \text{ г/см}^3$  ;
- 3) Соль не должна вступать в химическое взаимодействие с алюминием;
- 4) Соль должна обладать максимальной растворимостью в воде;
- 5) Соль должна быть недефицитной и недорогой.

В качестве таких солей можно использовать бромиды или йодиды кальция, бария, хлориды натрия, которые обладают высокой растворимостью в холодной воде, более высокой плотностью, чем алюминиевый расплав, более высокой температурой плавления и не взаимодействуют с алюминием[13].

Применение солей с высокой растворимостью в холодной воде обеспечивает снижение нерастворенного остатка солей в порах изделий из пеноалюминия, что повышает их качество. Кроме того, более высокая растворимость солей обеспечивает снижение трудоемкости операции удаления солей из пеноалюминия. Применение солей с большей плотностью, чем алюминиевый расплав не позволяет всплывать гранулам при заполнении. Более высокая температура плавления солей, чем температура заливки

алюминиевого сплава и температура нагрева формы, необходима для того, чтобы гранулы солей не расплавились при заливке.

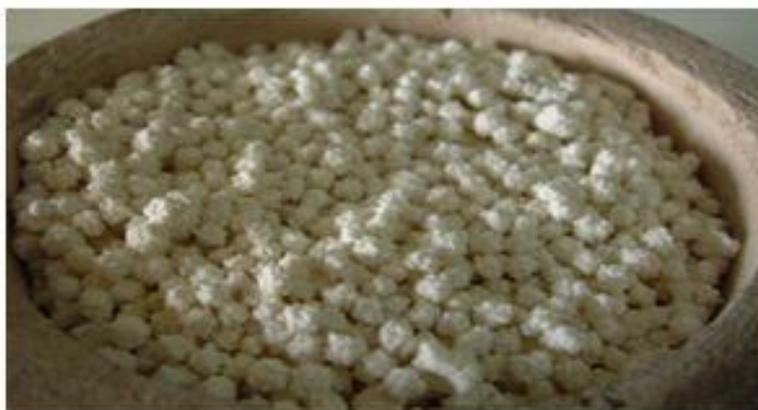
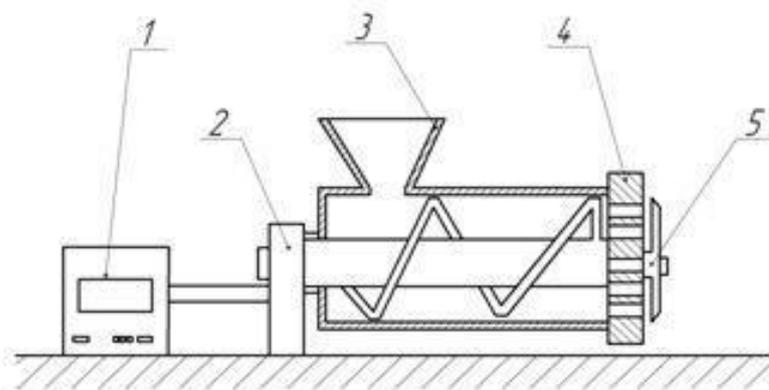


Рисунок 3 – Гранулированная соль

Изготовление гранул начинается с приготовления солевой массы. В состав солевой массы входит размолотая соль, вода и связующее вещество. В качестве связующего вещества может выступать спирт, сахарный сироп, раствор желатина и 5% крахмальный клейстер. Смешивание обеспечивается за счет энергичного принудительного кругового перемешивания частиц и сталкивания их друг с другом. Процесс перемешивания для получения однородной по составу смеси длится 3 — 5 минут. Затем к предварительно смешиваемому порошку в смеситель подается гранулирующая жидкость, и смесь перемешивается еще 3- 10 минут. Готовая солевая масса пропускается через шнековый гранулятор (рис.4), в котором при помощи шнека происходит выдавливание массы через перфорированную плиту и последующая нарезка специальным ножом на гранулы. Диаметр гранул соответствует размерам отверстий перфорированной плиты[13].



1– привод с блоком питания установки; 2 – шнек; 3 – бункер для засыпки солевой массы; 4 – перфорированная плита; 5 – нож

Рисунок 4 – Схема гранулятора шнекового

Полученные таким способом гранулы имеют цилиндрическую форму, что не позволяет получить пеноалюминий с равномерной пористостью. Для придания гранулам формы близкой к сферической применяют тарельчатый окомкователь (рис.5). Окомкователь состоит из блока управления, привода с редуктором и тарелки[13].



Рисунок 5 – Внешний вид окомкователя

После приготовления, гранулам необходима просушка в сушильных шкафах в течение 20-24 часов.

Примером применения данного способа производства пеноалюминия является изготовление пеноалюминиевых блоков. Форму и гранулы соли предварительно нагревают до 620°C, алюминиевый расплав нагревают до

720°C. Производят засыпку гранул в форму. Затем в форму с гранулами производят заливают расплавленный алюминий. После охлаждения и кристаллизации алюминия полученный блок извлекают из формы и помещают в воду для полного удаления соли из пор. Окончательный вид пеноалюминиевого блока приведен на рис.6[13].



Рисунок 6 – Блок из пеноалюминия

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать процессы формирования композиционных подшипников скольжения пеноалюминий-свинец.
2. Изучить механические и физические свойства сплава пеноалюминий-свинец.
3. Проанализировать опасные и вредные факторы при производстве композиционных подшипников скольжения пеноалюминий-свинец.

## 2 МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ

2.1 Методика исследования процессов формирования композиционных подшипников из сплавов Al-Pb

Процесс производства композиционных подшипников из сплавов Al-Pb включает в себя плавление алюминия и свинца, подготовку формы и заливку.

Для изготовления пеноалюминиевой заготовки и последующей пропитки заготовки свинцом использовали форму с верхней литниковой системой. Верхняя литниковая система обеспечивала быстрое заполнение формы с минимальными тепловыми потерями, упрощался процесс засыпки гранул в форму. Готовые изделия имели форму плит, из которых изготавливались образцы для испытания механических и физических свойств пеноматериалов.

Для формирования подшипников использовали алюминий А7 (табл.1) [7], гранулы NaCl, баббит В16 (табл.2)[8]. Плавку вели в графитовых тиглях в печи NaberthermTop 60 ECOB130. Режимы плавления устанавливались с помощью блока управления печью В130.



Рисунок 7 – печь NaberthermTop 60 ECOB130

Таблица 1 – Химический состав алюминия А7,%

Al	Fe	Si	Ti	Cu	Zn
99,7	до 0,16	до 0,16	до 0,02	до 0,01	до 0,04

Таблица 2 – Химический состав сплава Б16, %

Fe	Al	Cu	As	Pb	Zn	Sb	Bi	Sn
до 0,1	до 0,01	1,5 - 2	до 0,3	63,34 - 68,5	до 0,15	15 - 17	до 0,1	15 - 17

## 2.2 Методика исследования механических и физических свойств сплавов Al-Pb

### Плотность

Плотность — физическая величина равная отношению массы тела к его объему, показывает массу единичного объема вещества.

Плотность изделий из пенометаллов простой формы может быть определена из соотношения:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.1)$$

где,

M - масса образца;

V - объем образца.

Для определения массы образцов использовали весы. Размер образца измерялся штангенциркулем ШЦ-I со значением отсчета по нониусу 0,1 мм.

Для изделий более сложной формы для расчета плотности можно воспользоваться методом гидростатического взвешивания. [12]

### Теплопроводность

Теплопроводность  $\lambda$  с математической точки зрения представляет собой коэффициент пропорциональности, чья роль заключается в уравнивании размерностей левой и правой частей закона Фурье, и измеряется в Вт/(м·К).

С физической точки зрения теплопроводность – теплофизическая характеристика вещества. Для различных веществ при одинаковых градиентах температуры, поверхностях  $F$  и времени  $\tau$  количество проходящей через тело теплоты определяется только  $\lambda$ . Чем больше теплопроводность, тем выше будет способность вещества проводить теплоту, и наоборот. Говоря другими словами, теплопроводность должна представлять собой теплофизический параметр, определяющий способность тел проводить теплоту.

Для одного и того же материала теплопроводность изменяется в довольно широком диапазоне, причем характер изменения определяется многими факторами: температурой, количеством примесей, наличием влаги, давлением и т.п. Как правило, зависимость  $\lambda$  от вышеперечисленных факторов не поддается строгому аналитическому описанию, поэтому основным источником получения достоверных значений теплопроводности остается эксперимент.

Большинство методов определения коэффициентов проводности материалов основано на стационарном режиме – это метод плиты, метод трубы и метод шара.

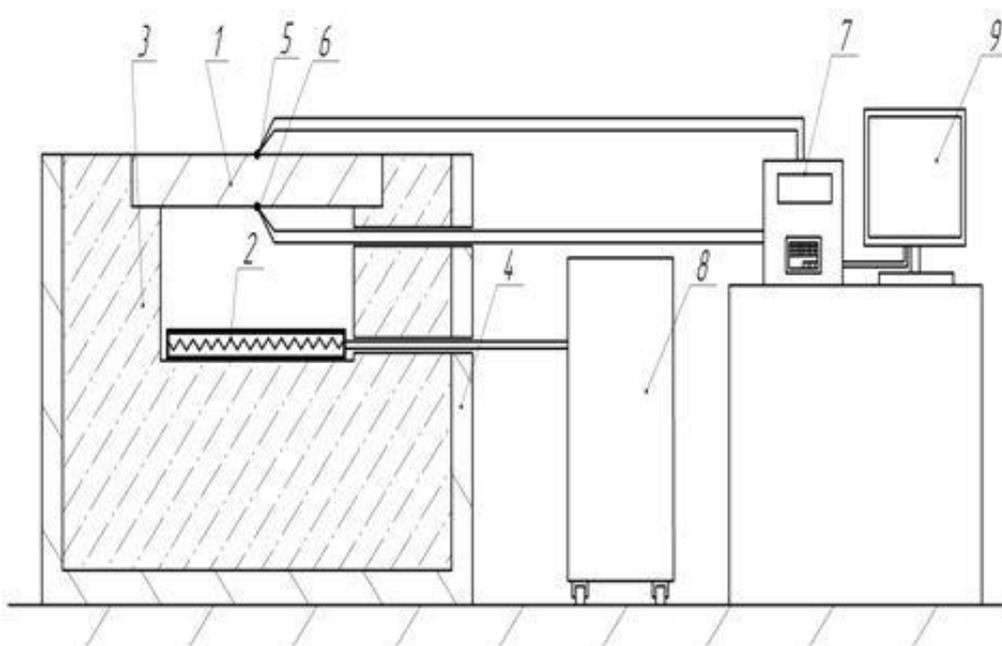
Для измерения теплопроводности использовали метод плиты. Метод плиты основан на законе теплопроводности плоской стенки неограниченных размеров. Принципиальная схема установки представлена на рис 8.

В средней части прибора расположен плоский электрический нагреватель 2 с источником питания 8, над ним испытуемый образец 1 вокруг которого в металлическом кожухе 4 расположена футеровка из огнеупорного материала 3. Температуру поверхности образца контролировали с помощью

хромель-алюмелевых термопар 5-6 и вторичного прибора 7. Данные по результатам измерения представлялись на экране монитора 9. При установившемся тепловом состоянии системы все тепло, выделяющееся в основном нагревателе, пройдет через образец, и поглотится. Если количество выделившегося тепла равно  $Q$  и температуры  $t_1$  и  $t_2$  известны, то коэффициент теплопроводности определяется из следующего соотношения:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{F(t_1 - t_2)} = \frac{0,86I\Delta E\delta}{F(t_1 - t_2)}, \quad (2.2)$$

Замеры  $Q$  ( $I$  и  $\Delta E$ ),  $t_1$  и  $t_2$  следует производить лишь после того, как температура  $t_3$  будет равна  $t_1$  и температура  $t_4$  равна  $t_5$ . только в этом случае все тепло, выделившееся в центральном нагревателе 1, действительно пройдет через испытуемый образец 2.



1 – испытуемый образец; 2- электрический нагреватель; 3 – футеровка; 4 – кожух; 5, 6 – термопары; 7 – вторичный прибор; 8 – источник питания; 9 – монитор

Рисунок 8 – Схема установки для определения теплопроводности материалов по методу плиты

## Прочность на сжатие

Предел прочности на сжатие есть пороговая величина постоянного (для статического предела прочности) или, соответственно, переменного (для динамического предела прочности), превышая который механическое напряжение в результате (за конечный достаточно короткий промежуток времени) сожмет тело из конкретного материала — тело разрушится или неприемлемо деформируется.

Для испытания изготавливали образцы размером 25x25x25 мм. Испытания на сжатие проводили на разрывной машине WAW-1000. В процессе испытаний строили диаграмму сжатия и определяли предел прочности при сжатии.

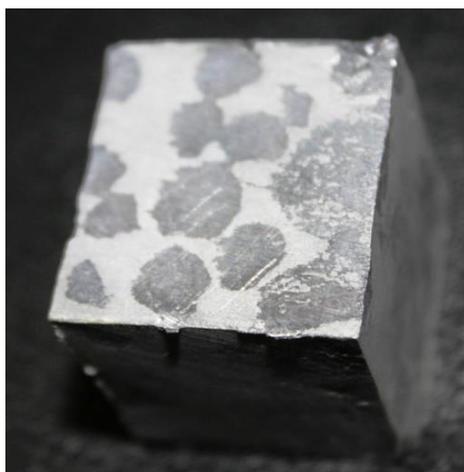


Рисунок 9 – Образец для испытания на прочность при сжатии

## Коэффициент трения скольжения

Для оценки величины коэффициента трения были изготовлены полированные образцы размером 50x28x14мм. [12]



Рисунок 10 – Образцы для определения коэффициента трения скольжения

Величина модуля силы трения оценивалась с помощью динамометра при скольжении образца с постоянной скоростью по стали без смазки. Расчет коэффициента трения скольжения производился по формуле:

$$\mu = \frac{F}{mg}, \quad (2.3)$$

где  $F$  – модуль силы трения скольжения;

$m$ – масса образца;

$g$ – ускорение свободного падения.

Износостойкость

Износостойкость оценивалась по изменению линейного размера образцов композиционного материала и баббита Б16. Испытания на истирание композиционного материала и баббита проводили на специальной установке, при постоянной частоте вращения ролика диаметром 25мм из стали 45 – 200об/мин и постоянном усилии прижима образца к ролику– 50Н. Контроль усилия прижатия и стабильность усилия в процессе испытаний обеспечивались тензорезисторным датчиком силы БП-05, контроллером ПЛК-73и шаговым приводом SMSD 4.2 с двигателем AD 200. [14]

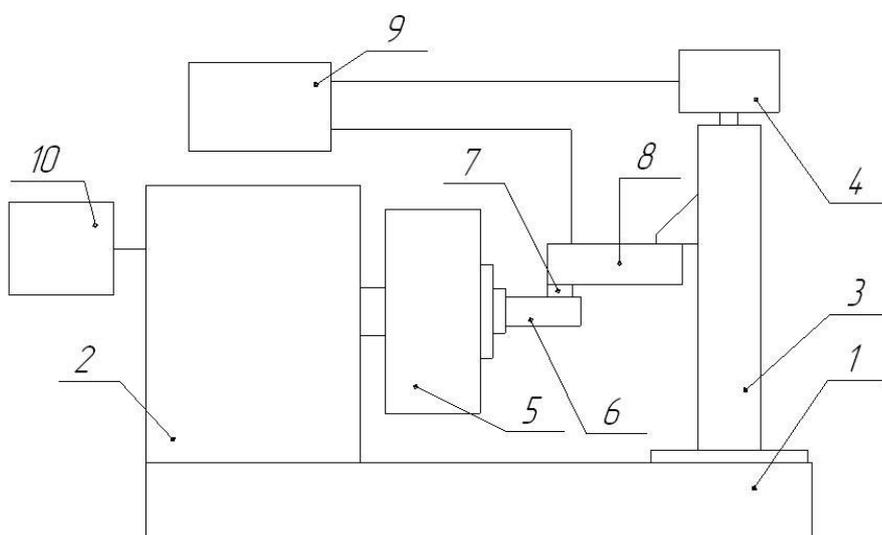
Интенсивность изнашивания определялась по формуле:

$$I = h/L,$$

где  $h$  – величина изношенного слоя,  $L$  – путь трения.



Рисунок 11 – Образцы для испытания износостойкости композиционного материала и баббита Б16



1 – Станина; 2 – Мотор-редуктор; 3 – Винтовая пара; 4 – двигатель;  
5 – Патрон; 6 – Контртело; 7 – Образец; 8 – Тензодатчик ; 9 – Блок управления; 10 – Частотный преобразователь

Рисунок 12 – Установка для испытания износостойкости композиционного материала и баббита Б16



Рисунок 13 – Установка для испытания износостойкости образцов композиционного материала

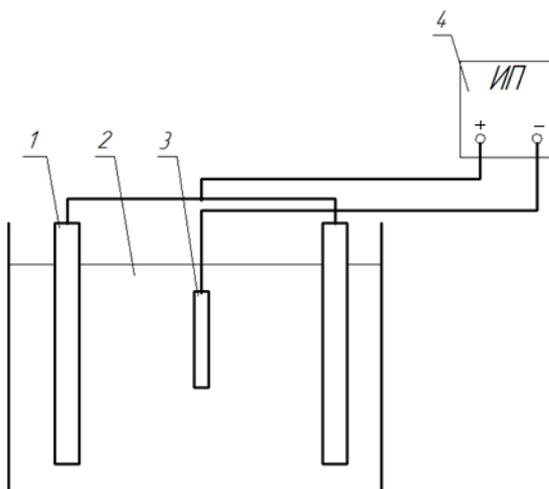
### 2.3 Исследование химического состава переходного слоя

Анализ химического состава проводился методом растровой электронной микроскопии (РЭМ), который основан на регистрации различных типов сигналов, генерируемых в образце при сканировании его поверхности сфокусированным электронным зондом. О структуре, фазовом и химическом составе образца информацию дают вторичные и отраженные электроны, рентгеновское излучение и другие сигналы. Метод РЭМ успешно применяется в материаловедческих исследованиях благодаря высокой разрешающей способности, большой глубине фокуса, наглядности изображения и простоте подготовки образцов для исследования.

### 2.4 Методика нанесения никелевого переходного слоя

Нанесение никелевого покрытия производили с помощью установки, собранной по схеме на рис.14 [9]. Для управления режимами никелирования использовали регулируемый источник питания постоянного тока. Никелевые электроды подключались к положительному выходу, а алюминиевая пластина к отрицательному выходу источника питания. Перед

никелированием производили процесс травления алюминия в растворе NaOH, осветление в 20% растворе азотной кислоты и двукратную обработку в цинкаторном растворе. Составы испытанных электролитов приведены в таблице 3. [10]



1 – никелевый электрод; 2 – электролит; 3 – алюминиевая пластина;  
4 – источник питания

Рисунок 14 – Схема установки для никелирования

Таблица 3 – Составы электролитов, г/л

№ состава	NiSO <sub>4</sub>	NiCl <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	NaF	NH <sub>4</sub> Cl
Электролит №1	140-200	30-40	25-30	10	60-80	-	-	-
Электролит №2	-	200-275	-	-	-	100-140	1-2	-
Электролит №3	80	-	20	50-60	-	-	-	20

## 2.5 Методика нанесения цинкового переходного слоя

Нанесение цинкового покрытия производили путем погружения офлюсованного алюминиевого образца в цинковый расплав. Перед

нанесением флюса на пластину производили процесс травления алюминия в растворе NaOH, осветление в 20% растворе HNO<sub>3</sub>. Перед погружением в расплав цинка производили сушку образца в сушильном шкафу при 80°C до полного высыхания флюса на поверхности образца. Составы испытанных флюсов приведены в таблице 4. [11]

Таблица 4 – Составы флюсов, %

	ZnCl <sub>2</sub>	KCl	LiCl	H <sub>2</sub> O	NaF	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NH <sub>4</sub> Cl	KF
Флюс №1	-	-	-	-	-	48	52	-	-
Флюс №2	20	34	-	-	1,8	15	15	-	3,5
Флюс №3	16	40	36	-	8	-	-	-	-
Флюс №4	80	-	-	-	-	-	-	20	-
Флюс №5	40	-	-	60	-	-	-	-	-
Флюс №6	40	1	-	54	5	-	-	-	-

## 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

### 3.1 Прочность на сжатие

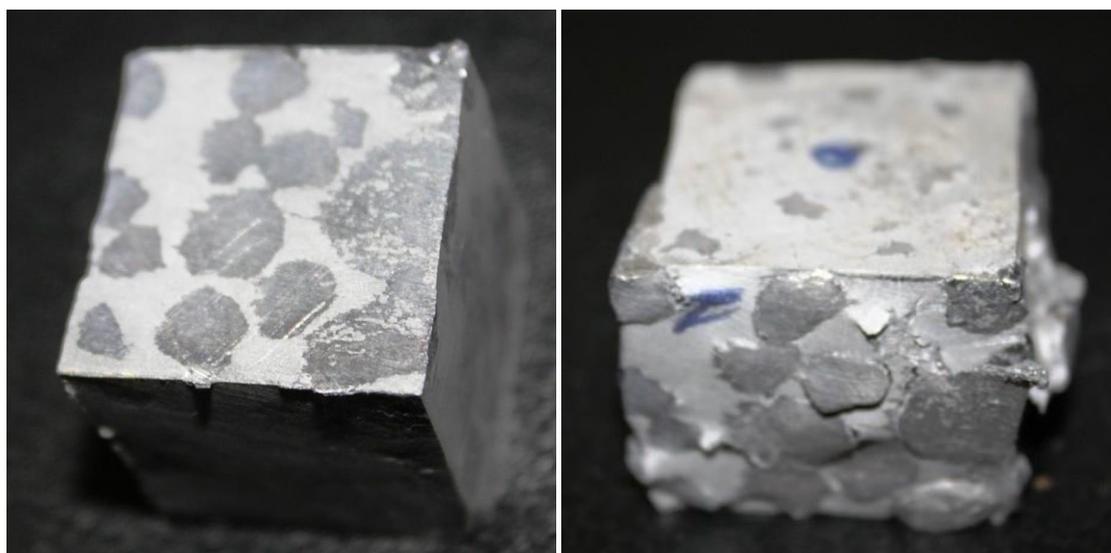
Испытания на сжатие композиционного материала алюминий-свинец показали, что значение предела прочности при сжатии составляет 52 МПа, наблюдается выдавливание свинцовой фазы из алюминиевой матрицы (рис.15). Легирование алюминиевой матрицы различными легирующими элементами (никель, железо, титан) и замена свинца на свинцовый баббит Б16 позволяет повысить предел прочности при сжатии до 108–121 МПа (табл.5).

Таблица 5 – Результаты испытания образцов на сжатие

№	Образец	Площадь, мм <sup>2</sup>	Величина нагрузки, кН	Предел прочности, МПа
1	2	3	4	5
1.	Пеноалюминий (А7) заполненный свинцом	662,16	34,45	52,026
2.	Пеноалюминий (А7+Ni20%) заполненный баббитом Б16	792	96	121
3.	Пеноалюминий (А7+Ni10%) заполненный баббитом Б16	826,36	96,5	116
4.	Пеноалюминий (А7+Ni5%) заполненный баббитом Б16	794,99	90	113

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5
5.	Пеноалюминий (А7+Fe1%) заполненный баббитом Б16	786.5	81	102
6.	Пеноалюминий (А7+Fe3%) заполненный баббитом Б16	740	88	119
7.	Пеноалюминий (А7+Fe5%) заполненный баббитом Б16	770	92	121
8.	Пеноалюминий (А7+Ti 0.5%) заполненный баббитом Б16	775,2	85	108
9.	Пеноалюминий (А7+Ti 1.0%) заполненный баббитом Б16	812,16	89	110
10.	Пеноалюминий (А7+Ti 1,5%) заполненный баббитом Б16	778,05	81	111



а)

б)

а) до испытаний; б) после испытаний

Рисунок 15 – Образцы для испытания на предел прочности при сжатии

### 3.2 Плотность

Плотность композиционного материала пеноалюминий-свинец по сравнению со свинцом С0 снижается с 11,34 г/см<sup>3</sup> до 8,25 г/см<sup>3</sup>. При замене свинца баббитом плотность материала снижается с 8,25 до 6,2 г/см<sup>3</sup> (табл.6). При введении в пеноалюминиевую матрицу легирующих элементов плотность материала незначительно повышается: при легировании никелем с 6,2 г/см<sup>3</sup> до 6,55 г/см<sup>3</sup>, при легировании железом с 6,22 г/см<sup>3</sup> до 6,65 г/см<sup>3</sup>, при легировании титаном с 6,2 г/см<sup>3</sup> до 6,84 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 6 – Плотность композиционного материала

№	Наименование материала	Плотность, г/см <sup>3</sup>
1	2	3
1.	Свинец С0	11,34
2.	Баббит Б16	9,3
3.	Пеноалюминий (А7) заполненный свинцом	8,25
4.	Пеноалюминий (А7+Ni20%) заполненный баббитом Б16	6,55
5.	Пеноалюминий (А7+Ni10%) заполненный баббитом Б16	6,31
6.	Пеноалюминий (А7+Ni5%) заполненный баббитом Б16	6,20
7.	Пеноалюминий (А7+Fe1%) заполненный баббитом Б16	6,22
8.	Пеноалюминий (А7+Fe3%) заполненный баббитом Б16	6,52
9.	Пеноалюминий (А7+Fe5%) заполненный баббитом Б16	6,65
10.	Пеноалюминий (А7+Ti 0.5%) заполненный баббитом Б16	6,68
11.	Пеноалюминий (А7+Ti 1.0%) заполненный баббитом Б16	6,78

Продолжение таблицы 6

1	2	3
12.	Пеноалюминий (А7+Тi 1,5%) заполненный баббитом Б16	6,84

### 3.3 Износостойкость

Испытания износостойкости показали, что стойкость к истиранию повышалась в 4 – 14 раз по сравнению с баббитом Б16 (табл.7).

Таблица 7 – Данные испытаний образцов на истирание

Маркировка	Абсолютный Износ, мм	Относ. Износ	Интенсивность изнашивания, мм/мм
Пеноалюминий (А7+Ni20%) заполненный баббитом Б16	0,07	14,28	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Пеноалюминий (А7+Ni10%) заполненный баббитом Б16	0,14	7,14	$2,9 \cdot 10^{-8}$
Пеноалюминий (А7+Ni5%) заполненный баббитом Б16	0,21	4,76	$4,2 \cdot 10^{-8}$
Баббит Б16	1,0	1	$2,1 \cdot 10^{-7}$

### 3.4 Коэффициент трения

Значение коэффициента трения скольжения без смазки композиционного материала находилось в пределах 0,2-0,3, что соответствует значениям коэффициента трения баббита Б16.

Вывод: В результате исследования физико-механических свойств композиционного материала удалось повысить предел прочности, износостойкость, а также снизить плотность материала. В процессе испытаний на прочность было выявлено выдавливание свинцовой фазы из алюминиевой матрицы (рис.15), что свидетельствует об отсутствии адгезионной связи между алюминиевой и свинцовой фазой. Для устранения данной проблемы предлагается использовать переходный слой, который будет иметь адгезионную связь как с алюминиевой, так и со свинцовой фазой. В качестве материала для переходного слоя предлагается использовать никель и цинк.

## 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ СЛОЕВ

### 4.1 Нанесение никелевого переходного слоя

При применении электролитов составов 1 и 3 (табл.3) было установлено влияние режимов процесса никелирования (сила тока; время выдержки) на внешний вид и толщину никелевого слоя. Толщина никелевого покрытия варьировалась от 10 до 35 мкм (рис.16).

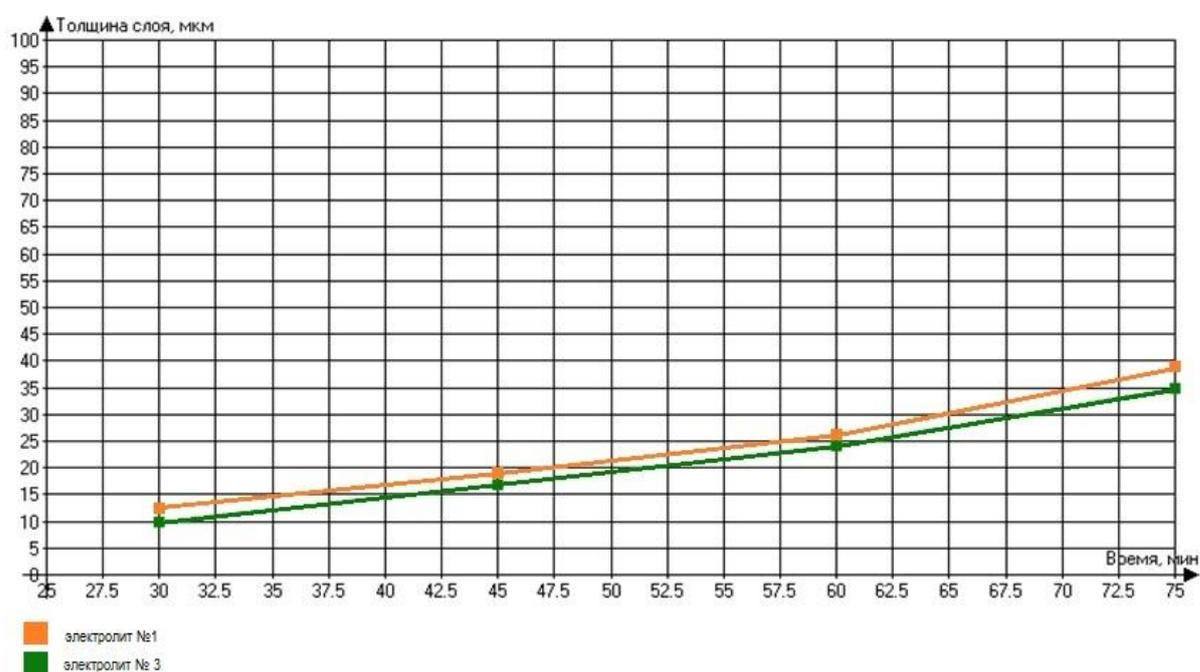


Рисунок 16 – Зависимость толщины никелевого покрытия от времени никелирования



а)

б)

а) сила тока – 0,5А, время никелирования – 30 мин.; б) сила тока – 0,5А, время никелирования – 60 минут

Рисунок 17 – Внешний вид никелированных образцов

При применении электролита состава №2 (табл.3) оптимальные режимы процесса установить не удалось – во всех случаях происходило отделение никелевого слоя с поверхности алюминия при механическом воздействии на образец (рис.18).



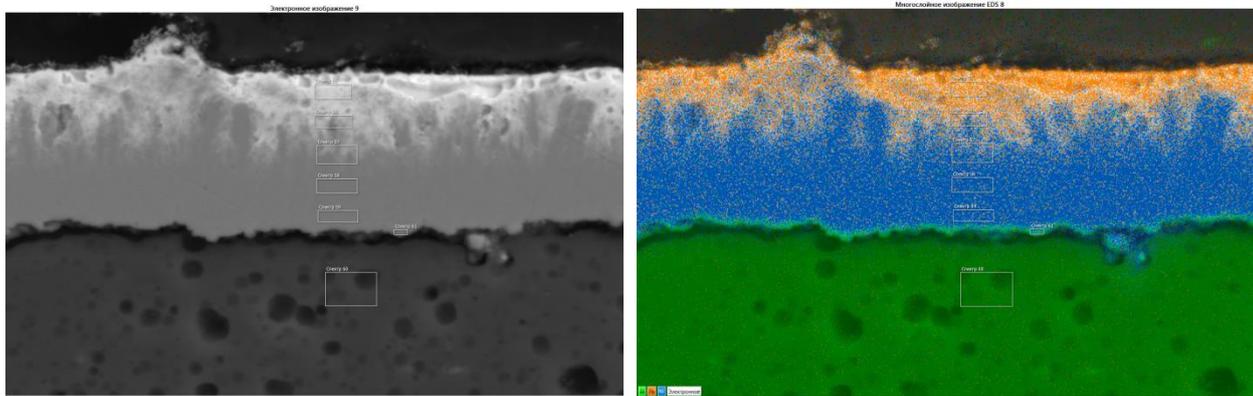
Рисунок 18 – Внешний вид образцов (электролит №2)

Для последующего испытания на смачивание свинцом были выбраны образцы, покрытые никелем с помощью электролита №1 при силе тока 0,5А и времени выдержки 60 минут. При погружении образцов наблюдалось хорошее смачивание свинцом никелевой поверхности. Кроме того происходило отслаивание никелевого покрытия с алюминиевой поверхности, что свидетельствует об отсутствии адгезионной связи между слоем никеля и алюминиевой поверхностью (рис.19).



Рисунок 19 – Алюминиевые образцы покрытые никелем и свинцом

Анализ химического состава образца показал, что между никелевым слоем и свинцом имеется хорошая адгезионная связь, а между алюминием и слоем никеля видна четкая граница раздела следовательно, адгезионная связь отсутствует (рис.20). Было получено распределение химического состава образца по спектрам (табл.8).



а)

б)

а) электронное изображение; б) многослойное изображение

Рисунок 20 – Анализ химического состава образца Al-Ni-Pb

Таблица 8 – Распределение химического состава образца Al-Ni-Pb

Название спектра	Mg	Al	Mn	Ni	Pb
Спектр 55				15.52	84.48
Спектр 56		0.43		50.33	49.23
Спектр 57		0.51		81.85	17.64
Спектр 58		0.63		99.37	
Спектр 59		1.13		98.87	
Спектр 60	3.09	95.95	0.26	0.70	
Спектр 61	2.14	51.76		46.10	

#### 4.2 Нанесение цинкового переходного слоя

При цинковании алюминия с помощью флюса системы  $\text{CaCl}_2 - \text{NaCl}$  (табл.4 флюс №1) смачивание цинком алюминиевой поверхности не наблюдалось (рис.21).



Рисунок 21 – Результат применения флюса системы  $\text{CaCl}_2 - \text{NaCl}$

При применении флюса №2 также был получен отрицательный результат – смачивание цинком алюминиевой поверхности не наблюдается, на поверхности образцов образуются продукты реакции компонентов флюса (рис.22).



Рисунок 22 – Внешний вид образцов после применения флюса №2

Применение флюса №3 показало, что наблюдается хорошее смачивание цинком алюминиевой поверхности, однако данный флюс сильно

активен и способствует быстрому растворению алюминия в расплаве цинка при температуре 500°C и выше (рис.23).



Рисунок 23 – Внешний вид образцов после применения флюса №3

При применении флюса №4 наблюдалось слабое смачивание алюминиевой поверхности цинком, однако цинковый слой распределялся по образцам неравномерно (рис.24).



Рисунок 24 – Внешний вид образцов после применения флюса №4

Флюсы №5 и №6 показали наилучший результат по смачиванию цинком алюминиевой поверхности. С помощью данных флюсов удалось получить равномерное распределение цинка по всей поверхности образца без значительного растворения алюминия в цинковом расплаве (рис.25).



Рисунок 25 – Внешний вид образца после применения флюса №6

Испытание на смачивание свинцом С0 и свинцовым баббитом Б16 производили на образцах оцинкованных с помощью флюса №6. При погружении оцинкованных образцов в свинец смачивание оцинкованной поверхности расплавом не наблюдалось, а при погружении образцов в расплавленный баббит наблюдалось стекание цинка с поверхности образцов (рис.26). Данный факт обусловлен тем, что цинк и баббит имеют близкие температуры плавления. Для решения данной проблемы было предложено добавить в свинец олово до эвтектической концентрации. Эвтектический сплав олово-свинец имеет температуру плавления 183°C, что гораздо ниже температуры плавления свинца С0 (327 °С) и свинцового баббита Б16 (410°C).



Рисунок 26 – Внешний вид образцов после погружения в свинец и свинцовый баббит

При погружении оцинкованного образца в эвтектический расплав олово-свинец наблюдалось смачивание расплавом оцинкованной поверхности (рис.27).



Рисунок 27 – Внешний вид образца после погружения в эвтектический расплав олово-свинец

Для дальнейшего исследования процессов формирования цинкового переходного слоя был изготовлен пеноалюминиевый образец, который впоследствии был покрыт слоем цинка (рис.28) с помощью флюса №6 и пропитан эвтектическим расплавом олово-свинец (рис.29).

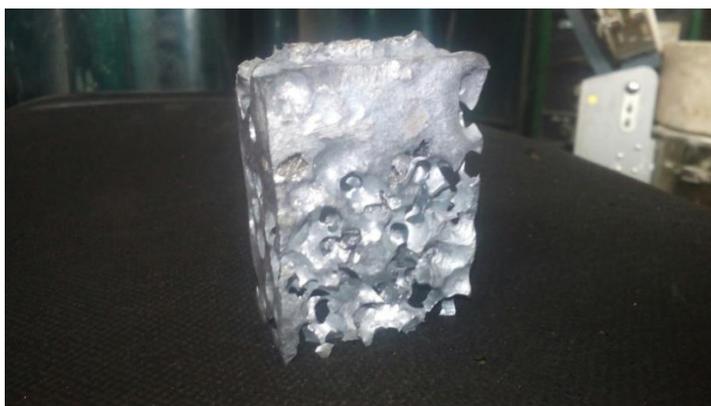
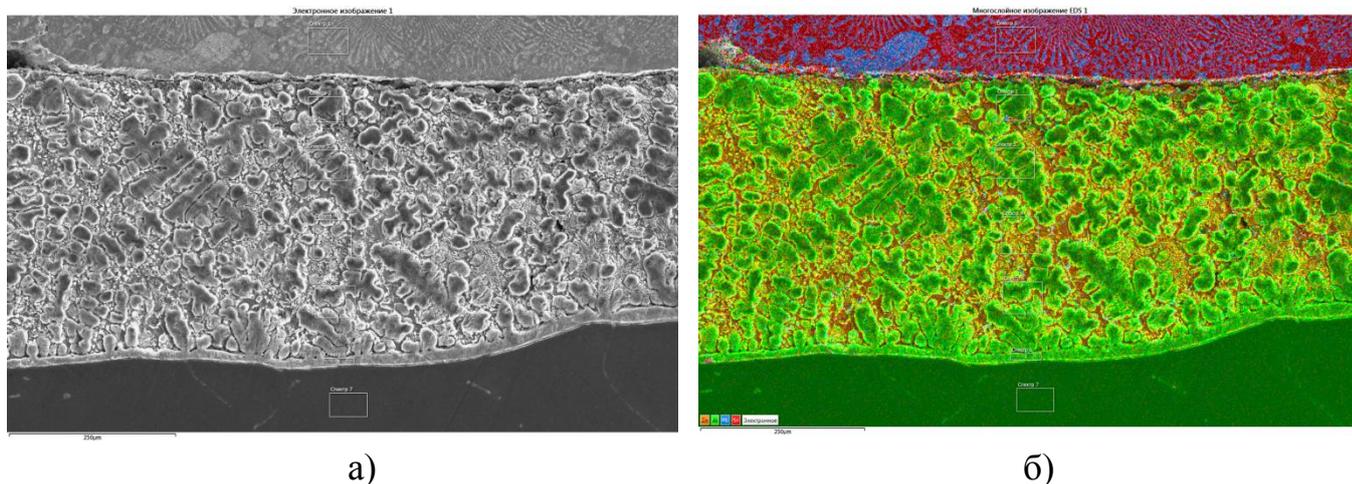


Рисунок 28 – Внешний вид оцинкованного пеноалюминиевого образца



Рисунок 29 – Внешний вид образца, пропитанного эвтектическим расплавом олово-свинец

Проведенный рентгеноспектральный анализ полученного образца показал, что между алюминиевой матрицей и цинковым покрытием, а также между цинковым покрытием и свинцовой фазой отсутствует четкая граница раздела (рис.30). Было получено распределение химического состава образца по спектрам (табл.9).



а) электронное изображение; б) многослойное изображение

Рисунок 30 – Анализ химического состава образца Al-Zn-Pb

Таблица 9 – Распределение химического состава образца Al-Zn-Pb

Название спектра	Al	Ti	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
Спектр 1	0.35					71.79	27.86
Спектр 2	67.25	0.30		0.85	27.64	0.92	3.04
Спектр 3	64.63	0.39			34.37	0.60	
Спектр 4	41.27				58.73		
Спектр 5	65.24	0.18			34.15	0.43	
Спектр 6	81.53	0.17	0.39	0.73	17.18		
Спектр 7	99.50			0.27	0.23		

Вывод: В ходе исследования процессов формирования и нанесения переходных слоев было установлено, что применение никеля в качестве переходного покрытия затруднительно, т.к. отсутствует адгезионная связь между алюминиевой поверхностью и никелевым слоем. Применение цинкового переходного покрытия возможно при добавлении в свинцовый расплав олова до эвтектической концентрации.

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

### 5.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Технологический процесс изготовления сплава пеноалюминий-свинец включает в себя следующие операции:

1. Изготовление гранул NaCl;
2. Изготовление пеноалюминиевой заготовки;
3. Промывка заготовки;
4. Травление поверхности заготовки;
5. Цинкование заготовки;
6. Пропитка заготовки свинцом;
7. Контроль качества.

Данные операции выполняются на участке, который содержит следующее технологическое оборудование:

1. Печь NaberthermTop 60 ESOB130;
2. Ванны с травителями.

Таблица 10 – Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	2	3	4	5	6
1	Изготовление сплава пеноалюминий-свинец	изготовление гранул NaCl	лаборант	шнековый гранулятор	вода, желатин, соль

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6
2		изготовление пеноалюминиевой заготовки	литейщик	печь NaberthermTop 60 ESOB130, тигель, форма, клещи	алюминий А7, гранулы NaCl
3		промывка заготовки	литейщик	клещи	вода
4		травление поверхности заготовки	лаборант	емкости для растворов, клещи	раствор NaOH, раствор HNO <sub>3</sub>
5		цинкование заготовки	литейщик	печь NaberthermTop 60 ESOB130, тигель, клещи	флюс, цинк
6		пропитка заготовки свинцом	литейщик	печь NaberthermTop 60 ESOB130, тигель, форма, клещи	флюс, свинец С0
7		Контроль качества	дефектоскопист	набор для ВИК	

5.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Таблица 11 – Идентификация профессиональных рисков [20]

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
1	2	3	4
1	изготовление гранул NaCl	подвижные части производственного оборудования	шнековый гранулятор

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4
2	изготовление пеноалюминиевой заготовки	повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	печь NaberthermTop 60 ESOB130, расплавленный металл
3	промывка заготовки	острые кромки, заусенцы, шероховатость на поверхности заготовки	заготовка
4	травление поверхности заготовки	токсичные, раздражающие кожные покровы, слизистые оболочки, дыхательные пути химические растворы	раствор NaOH, раствор HNO <sub>3</sub>
5	цинкование заготовки	повышенная температура поверхностей оборудования, раздражающие кожные покровы, слизистые оболочки газы	печь NaberthermTop 60 ESOB130, расплавленный металл, флюс
6	пропитка заготовки свинцом	повышенная температура поверхностей оборудования	печь NaberthermTop 60 ESOB130, расплавленный металл

### 5.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

Таблица 12 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	2	3	4
1	Подвижные части производственного оборудования	Использовать защитный кожух, сигнальные надписи, обучить персонал работе с оборудованием	Защитные очки, перчатки, спецодежда
2	Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Рабочие площадки, расположенные над сводом электропечи, должны быть теплоизолированы, разместить сигнальные надписи	Термостойкие рукавицы, термостойкий костюм, защитные очки
3	Острые кромки, заусенцы, шероховатость на поверхности заготовки	Провести инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда
4	Токсичные, раздражающие кожные покровы, слизистые оболочки, дыхательные пути химические растворы (испарения растворов)	Использовать вентиляционные системы	Респиратор, защитные очки, резиновые перчатки

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4
5	Повышенная температура поверхностей оборудования, раздражающие кожные покровы, слизистые оболочки химические газы	Рабочие площадки, расположенные над сводом электропечи, должны быть теплоизолированы, разместить сигнальные надписи, использовать вентиляционные системы	Респиратор, защитные очки, термостойкие рукавицы, термостойкий костюм
6	Повышенная температура поверхностей оборудования	Рабочие площадки, расположенные над сводом электропечи, должны быть теплоизолированы, разместить сигнальные надписи	Термостойкие рукавицы, термостойкий костюм, защитные очки

5.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

Таблица 13 – Идентификация классов и опасных факторов пожара [18,19]

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	2	3	4	5	6
1	Участок изготовления сплавов	печь Nabertherm Top 60 ESOB130	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов в электроустановках, находящихся под электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму	вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; термохимическое воздействия используемых при пожаре огнетушащих веществ на предметы и людей при пожаре

Таблица 14 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности [18]

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки и системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили (вызываются)	Установка водяного тушения	Системы передачи извещений о пожаре	Краны пожарные напорные пожарные рукава	План эвакуации	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре

Таблица 15 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности [18]

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
1	2	3

Продолжение таблицы 15

1	2	3
Изготовление сплава пеноалюминий-свинец	Проведение инструктажей по правилам пожарной безопасности, проведение учений с производственным персоналом	Иметь на участке первичные средства пожаротушения в достаточном количестве

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Таблица 16 – Идентификация экологических факторов технического объекта [18]

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействия технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5
Изготовление сплава пеноалюминий-свинец	Изготовление пеноалюминиевой заготовки			шлак, выделяющийся при плавлении металла
	Травление поверхности заготовки	Токсичные испарения химических растворов	Токсичные отходы (отработанные растворы)	
	Цинкование заготовки	газы, выделяющиеся при плавлении флюса		шлак, выделяющийся при плавлении металла
	Пропитка заготовки свинцом	газы, выделяющиеся при плавлении флюса		шлак, выделяющийся при плавлении металла

Таблица 17 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду [18]

Наименование технического объекта	восстановление внутренней плоской поверхности трещиновой муфты
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Использование принудительной вытяжной вентиляции с фильтрами, Установить гигиенический норматив качества атмосферного воздуха - критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Использование очистных сливов, сооружений очистки
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Специальный контейнер для хранения и дальнейшая утилизация шлака, в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды. Составление паспорта отходов - документ, удостоверяющий принадлежность отходов к отходам соответствующего вида и класса опасности, содержащий сведения об их составе

Заключение по разделу «Безопасность и экологичность технического объекта».

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса по изготовлению сплава пеноалюминий-свинец, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы (таблица 10).

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу изготовления сплава пеноалюминий-свинец, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие: подвижные части производственного оборудования; повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; острые кромки, заусенцы, шероховатость на поверхности заготовки, токсичные, раздражающие кожные покровы, слизистые оболочки, дыхательные пути химические растворы и газы.

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков: проводить инструктажи по охране труда и правилам пожарной безопасности, использовать сигнальные надписи, использовать защитный кожух, рабочие площадки, расположенные над сводом электропечи, должны быть теплоизолированы, использовать вентиляционные системы. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников (таблица 12).

4. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 13). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 14). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 15).

5. Идентифицированы экологические факторы (таблица 16) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 17).

## 6 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

### 6.1 Расчет трудоемкости проведения НИР

Организационно-экономическое обоснование данной научно-исследовательской работы заключается в следующем:

1. Определение трудоемкости и длительности проводимых работ.
2. Составление линейного плана-графика выполнения НИР на протяжении всего процесса исследования.
3. Расчет предпроизводственных (текущих), капитальных и приведенных (полных) затрат, необходимых для проведения данной работы.

Работы, осуществляемые в процессе исследования, разбиваются на определенные стадии и этапы и сводятся в таблицу.

Таблица 18 – Наименование стадий и содержание этапов НИР:

№ стадии	Наименование стадии НИР	№ этапа	Содержание этапов работы
1.	Ознакомление с существующими методами получения сплавов Al-Pb.	1.1 1.2 1.3. 1.4 1.5	Составление плана НИР Расчет плановой сметы предпроизводственных затрат. Ознакомление с методами механических испытаний композиционных материалов. Ознакомление с существующими методами исследования химического состава композиционных материалов. Ознакомление с существующими методами исследования эксплуатационных свойств композиционных материалов.
1	2	3	4

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4
2.	Подготовка к проведению экспериментов.	2.1 2.2 2.3 2.4 2.5	Разработка конструкции формы для изготовления отливок. Изготовление формы. Изготовление гранул NaCl для производства пеноалюминия. Изготовление контрольных образцов из сплава Al-Pb. Составление программы исследований.
3.	Проведение экспериментов и их анализ.	3.1. 3.2. 3.3.	Исследование процессов формирования сплава Al-Pb. Исследование свойств сплава Al-Pb. Построение графиков результатов проведенных исследований.
4.	Оформление результатов НИР.	4.1 4.2 4.3 4.4	Оформление и согласование отчетов. Составление фактического графика работ и анализ причин его отклонения от плана. Расчет фактических производственных, предпроизводственных (текущих) затрат. Определение непроизводственных затрат (резервов времени).

Ожидаемая трудоемкость выполнения каждого этапа работы определяется по эмпирической формуле (дни):

$$T_{\text{ож}} = \frac{3T_{\text{min}} + 2T_{\text{max}}}{5} \text{ (дн.)}$$

$$1.1 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 11}{5} = 8 \text{ дн}$$

$$1.2 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4,8 \text{ дн}$$

$$1.3 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2 \text{ дн}$$

$$1.4 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 10}{5} = 8,2 \text{ дн}$$

$$1.5 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 11}{5} = 8,6 \text{ дн}$$

$$2.1 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 8}{5} = 7,4 \text{ дн}$$

$$2.2 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 11 + 2 \cdot 13}{5} = 9,6 \text{ дн}$$

$$2.3 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 9 + 2 \cdot 10}{5} = 9,4 \text{ дн}$$

$$2.4 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4,8 \text{ дн}$$

$$2.5 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 21 + 2 \cdot 31}{5} = 25 \text{ дн}$$

$$3.1 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 29 + 2 \cdot 36}{5} = 31,8 \text{ дн}$$

$$3.2 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 26 + 2 \cdot 29}{5} = 27,2 \text{ дн}$$

$$3.3 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 13 + 2 \cdot 16}{5} = 14,2 \text{ дн}$$

$$4.1 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 25 + 2 \cdot 27}{5} = 25,8 \text{ дн}$$

$$4.2 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 7}{5} = 4 \text{ дн}$$

$$4.3 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 9}{5} = 6,6 \text{ дн}$$

$$4.4 T_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 11}{5} = 8 \text{ дн}$$

где  $T_{\text{min}}$  — оптимистическая (наименьшая) трудоемкость;

$T_{\text{max}}$  — пессимистическая (наибольшая) трудоемкость;

Определяется длительность каждого этапа работ (дни):

$$T_{\text{эт}} = \frac{T_{\text{ож}}}{\Psi} \text{ (дн.)},$$

$$1.1 T_{\text{эт}} = \frac{8}{2} = 4 \text{ дн}$$

$$1.2 T_{\text{эт}} = \frac{4,8}{2} = 2,4 \text{ дн} \approx 3 \text{ дн}$$

$$1.3 T_{\text{эт}} = \frac{4,2}{2} = 2,1 \text{ дн} \approx 3 \text{ дн}$$

$$1.4 T_{\text{эт}} = \frac{8,2}{2} = 4,1 \text{ дн} \approx 5 \text{ дн}$$

$$1.5 T_{\text{эт}} = \frac{8,6}{2} = 4,3 \text{ дн} \approx 5 \text{ дн}$$

$$2.1 T_{\text{эт}} = \frac{7,4}{2} = 3,7 \text{ дн} \approx 4 \text{ дн}$$

$$2.2 T_{\text{эт}} = \frac{9,6}{2} = 4,8 \text{ дн} \approx 5 \text{ дн}$$

$$2.3 T_{\text{эт}} = \frac{9,4}{2} = 4,7 \text{ дн} \approx 5 \text{ дн}$$

$$2.4 T_{\text{эт}} = \frac{4,8}{2} = 2,4 \text{ дн} \approx 3 \text{ дн}$$

$$2.5 T_{\text{эт}} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ дн} \approx 13 \text{ дн}$$

$$3.1 T_{\text{эт}} = \frac{31,8}{2} = 15,9 \text{ дн} \approx 16 \text{ дн}$$

$$3.2 T_{\text{эт}} = \frac{27,2}{2} = 13,6 \text{ дн} \approx 14 \text{ дн}$$

$$3.3 T_{\text{эт}} = \frac{14,2}{2} = 7,1 \text{ дн} \approx 8 \text{ дн}$$

$$4.1 T_{\text{эт}} = \frac{25,8}{2} = 12,9 \text{ дн} \approx 13 \text{ дн}$$

$$4.2 T_{\text{эт}} = \frac{4}{2} = 2 \text{ дн}$$

$$4.3 T_{\text{эт}} = \frac{6,6}{2} = 3,3 \text{ дн} \approx 4 \text{ дн}$$

$$4.4 T_{\text{эт}} = \frac{8}{2} = 4 \text{ дн}$$

где Ч – численность исполнителей на данном этапе

Суммарная длительность НИР:

$$T_{\text{нир}} = \sum T_{\text{эт}} = 4+3+3+5+5+4+5+5+3+13+16+14+8+13+2+4+4=111 \text{ дня}$$

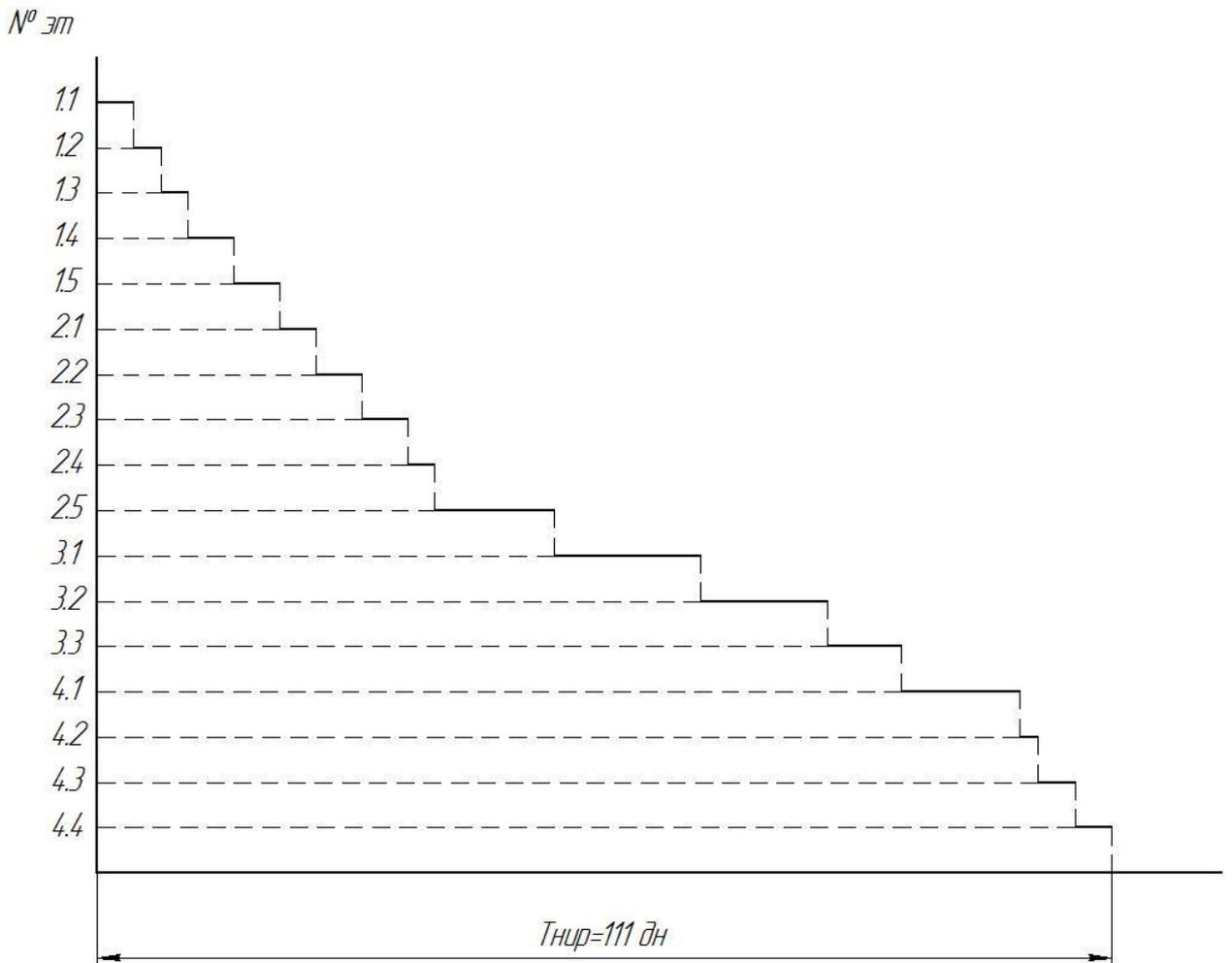


Рисунок 31 – Линейный график НИР

Удельное значение каждого этапа рассчитываем по формуле:

$$У_{д.эт.} = \frac{T_{эт}}{T_{нир}} \cdot 100\%$$

$$1.1 \ U_{д.эт.} = \frac{4}{111} * 100\% = 3,60\%$$

$$1.2 \ U_{д.эт.} = \frac{3}{111} * 100\% = 2,70\%$$

$$1.3 \ U_{д.эт.} = \frac{3}{111} * 100\% = 2,70\%$$

$$1.4 \ U_{д.эт.} = \frac{5}{111} * 100\% = 4,50\%$$

$$1.5 \ U_{д.эт.} = \frac{5}{111} * 100\% = 4,50\%$$

$$2.1 \ U_{д.эт.} = \frac{4}{111} * 100\% = 3,60\%$$

$$2.2 \ U_{д.эт.} = \frac{5}{111} * 100\% = 4,50\%$$

$$2.3 \ U_{д.эт.} = \frac{5}{111} * 100\% = 4,50\%$$

$$2.4 Y_{д.эт.} = \frac{3}{111} * 100\% = 2,70\%$$
$$2.5 Y_{д.эт.} = \frac{13}{111} * 100\% = 11,71\%$$
$$3.1 Y_{д.эт.} = \frac{16}{111} * 100\% = 14,41\%$$
$$3.2 Y_{д.эт.} = \frac{14}{111} * 100\% = 12,61\%$$
$$3.3 Y_{д.эт.} = \frac{8}{111} * 100\% = 7,20\%$$
$$4.1 Y_{д.эт.} = \frac{13}{111} * 100\% = 11,71\%$$
$$4.2 Y_{д.эт.} = \frac{2}{111} * 100\% = 1,80\%$$
$$4.3 Y_{д.эт.} = \frac{4}{111} * 100\% = 3,60\%$$
$$4.4 Y_{д.эт.} = \frac{4}{111} * 100\% = 3,60\%$$

Таблица 19 – Сводная таблица результатов расчетов:

№ п/п	Удельное значение этапа %	Наращение технической готовности	Ожидаемая трудоемкость (дн.)	Количество одновременно работающих	Длительность этапа, T <sub>эт</sub>
1.1.	3,60	3,60	8	2	4
1.2.	2,70	6,30	4,8	2	3
1.3.	2,70	9,00	4,2	2	3
1.4.	4,50	13,50	8,2	2	5
1.5.	4,50	18,00	8,6	2	5
2.1.	3,60	21,60	7,4	2	4
2.2.	4,50	26,10	9,6	2	5
2.3.	4,50	30,60	9,4	2	5
2.4.	2,70	33,30	4,8	2	3
2.5.	11,71	45,01	25	2	5
3.1.	14,41	59,42	31,8	2	16
3.2.	12,61	72,03	27,2	2	14
3.3.	7,20	79,23	14,2	2	8
4.1.	11,71	90,94	25,8	2	13
4.2.	1,80	92,74	4	2	2
4.3.	3,60	96,34	6,6	2	4
4.4.	3,60	99,94	8	2	4

## 6.2 Сетевое планирование проведения НИР

Таблица 20 – Перечень событий и работ

№ События	Перечень работ	Шифр работ	Продолжительность работы (дни)
0	Решение о проведении НИР		
1	Составление плана НИР и расчет плановой сметы предпроизводственных затрат.	0-1	14
2	Ознакомление с существующими методами механических испытаний.	1-2	6
	Ознакомление с существующими методами исследования эксплуатационных свойств и с методами исследования химического состава композиционных материалов.	1-3	20
3	Разработка конструкции формы для изготовления отливок	0-2	8
4	Изготовление формы	3-4	10
	Изготовление гранул NaCl для производства пеноалюминия	3-5	10
	Изготовление контрольных образцов из сплава Al-Pb	4-6	6
5	Исследование процессов формирования сплава Al-Pb	2-7	32
6	Исследование свойств сплава Al-Pb	5-6	28
7	Построение графиков результатов проведенных исследований, их анализ и формулировка выводов и рекомендаций	6-7	16
8	Оформление результатов НИР	7-8	46

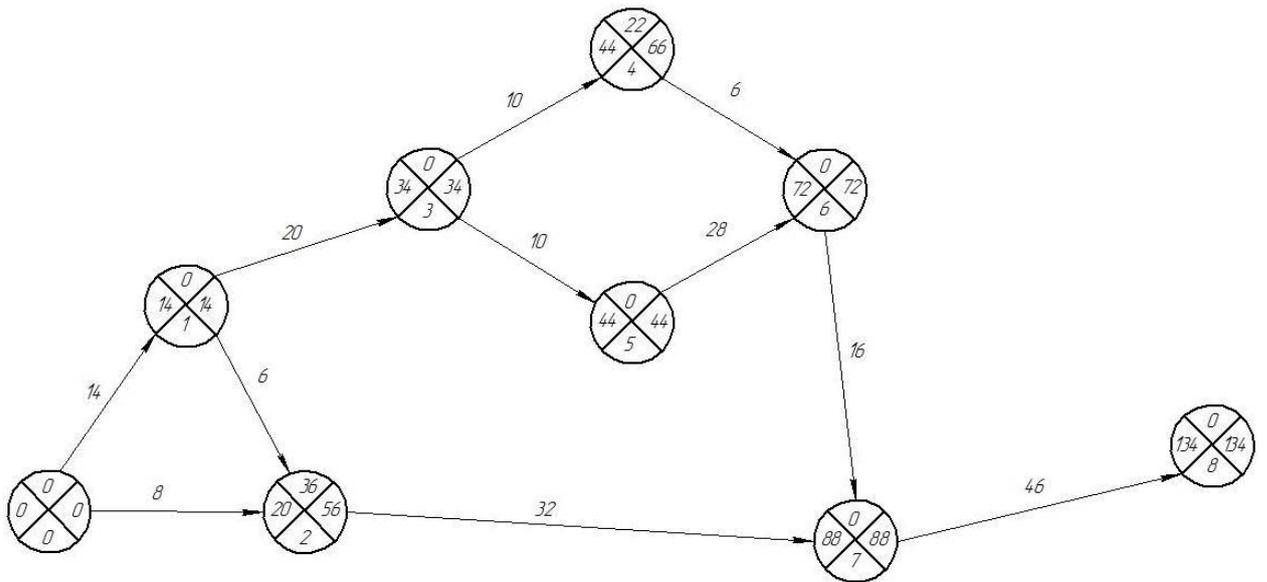


Рисунок 32 – Сетевой график комплекса работ по проведению НИР

Рассчитываем длительности путей сетевого графика.

$$T_1 = 0 - 1 - 3 - 4 - 6 - 7 - 8 = 14 + 20 + 10 + 6 + 16 + 46 = 112 \text{ дней}$$

$$T_2 = 0 - 1 - 3 - 5 - 6 - 7 - 8 = 14 + 20 + 10 + 28 + 16 + 46 = 134 \text{ дня}$$

$$T_3 = 0 - 1 - 2 - 7 - 8 = 14 + 6 + 32 + 46 = 98 \text{ дней}$$

$$T_4 = 0 - 2 - 7 - 8 = 8 + 32 + 46 = 86 \text{ дня}$$

$T_2$  – критический путь;

$T_1$  – подкритический путь;

$T_3$  – ненапряженный путь;

$T_4$  – ненапряженный путь;

Рассчитываем свободные резервы путей сетевого графика.

От критического пути отнимается продолжительность пути, свободный резерв которого рассчитывается.

$$R_{T1} = T_2 - T_1 = 134 - 112 = 22 \text{ дней}$$

$$R_{T2} = 0 \text{ дней}$$

$$R_{T3} = T_2 - T_3 = 134 - 98 = 36 \text{ дней}$$

$$R_{T4} = T_2 - T_4 = 134 - 86 = 48 \text{ дня}$$

Рассчитываем ранние сроки свершения событий.

К раннему сроку предыдущего события добавляем длительность работы и получаем ранний срок последующего события. Если в событие входит несколько работ, то проставляется максимальное значение.

Рассчитываем поздние сроки свершения событий.

Поздний срок свершения предыдущего события рассчитывается вычитанием из позднего срока последующего события длительности работы. Если в событии начинаются несколько работ, то проставляется минимальное значение.

Рассчитываем свободные резервы событий.

Из позднего срока свершения событий вычитается ранний срок свершения события.

Рассчитываем свободные резервы работ, не лежащих на критическом пути.

Рассчитываем полные резервы.

От позднего срока свершения последующего события вычитается ранний срок предыдущего события и длительность работы.

$$R_{0-1} = 14 - 0 - 14 = 0$$

$$R_{0-2} = 56 - 0 - 8 = 48$$

$$R_{1-2} = 56 - 14 - 6 = 36$$

$$R_{1-3} = 34 - 14 - 20 = 0$$

$$R_{2-7} = 88 - 20 - 32 = 36$$

$$R_{3-4} = 66 - 34 - 10 = 20$$

$$R_{3-5}=44-34-10=0$$

$$R_{4-6}=72-44-6=22$$

$$R_{5-6}=72-44-28=0$$

$$R_{6-7}=88-72-16=0$$

$$R_{7-8}=134-88-46=0$$

Рассчитываем частные резервы первого вида.

Из позднего срока последующего события вычитается поздний срок предыдущего события и длительность работы.

$$R_{0-1}^{чI}=14-0-14=0$$

$$R_{0-2}^{чI}=46-0-8=48$$

$$R_{1-2}^{чI}=56-14-6=36$$

$$R_{1-3}^{чI}=34-14-20=0$$

$$R_{2-7}^{чI}=88-56-32=0$$

$$R_{3-4}^{чI}=66-34-10=22$$

$$R_{3-5}^{чI}=44-34-10=0$$

$$R_{4-6}^{чI}=72-66-6=0$$

$$R_{5-6}^{чI}=72-44-28=0$$

$$R_{6-7}^{чI}=88-72-16=0$$

$$R_{7-8}^{чI}=134-88-46=0$$

Рассчитываем частные резервы второго вида.

Из раннего срока последующего события вычитается ранний срок предыдущего события и длительность работы.

$$R_{0-1}^{чII}=14-0-14=0$$

$$R_{0-2}^{чII}=56-0-8=48$$

$$R_{1-2}^{чII}=20-14-6=0$$

$$R_{1-3}^{чII}=34-14-20=0$$

$$R_{2-7}^{чII}=88-20-32=36$$

$$R_{3-4}^{чII}=44-34-10=0$$

$$R_{3-5}^{чII}=44-34-10=0$$

$$R_{4-6}^{чII}=72-44-6=22$$

$$R_{5-6}^{чII}=72-44-28=0$$

$$R_{6-7}^{чII}=88-72-16=0$$

$$R_{7-8}^{чII}=134-88-46=0$$

Таблица 21 – Сводная таблица параметров сетевого графика

Шифр работ	Продолжит.	Полные	Ч I	Ч II	№ события	Сроки		Свободные резервы событий
						Ранние	Поздние	
0-1	14	0	0	0	0	0	0	0
0-2	8	48	48	48	1	14	14	0
1-2	6	36	36	0	2	20	56	36
1-3	20	0	0	0	3	34	34	0
2-7	32	36	0	36	4	44	66	22
3-4	10	22	22	0	5	44	44	0
3-5	10	0	0	0	6	72	72	0
4-6	6	22	0	22	7	88	88	0
5-6	28	0	0	0	8	134	134	0
6-7	16	0	0	0				
7-8	46	0	0	0				

#### Оптимизация сетевого графика.

Рассчитаем коэффициент напряженности путей.

$$K_{HT1} = \frac{T_1}{T_{кр}} = \frac{112}{134} = 0,83$$

$$K_{HT3} = \frac{T_3}{T_{кр}} = \frac{98}{134} = 0,73$$

$$K_{HT4} = \frac{T_4}{T_{кр}} = \frac{86}{134} = 0,64$$

Чтобы определить оптимальную продолжительность выполнения всего комплекса работ (если она не задана планом или условием), надо определить среднюю продолжительность всех путей графика. В нашем случае:

$$T_{опт.} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} = \frac{112 + 134 + 98 + 86}{4} = 108 \text{ дней}$$

Это теоретически самый короткий срок исполнения всего комплекса работ. Оптимизируя сетевой график, следует стремиться максимально, приблизиться к этой цифре.

1 этап:

С пути Т<sub>4</sub> работы 0-2 берем 22 дней и перемещаем на работу 5-6 пути Т<sub>2</sub>.

С пути Т<sub>3</sub> работы 1-2 берем 10 дней и перемещаем 6 дня на работу 3-5 пути Т<sub>2</sub> и 4 дня на работу 3-4 пути Т<sub>1</sub>.

Таблица 22 – Оптимизация первого варианта сетевого графика

Шифр путей	Первоначальная продолжительность путей, (дни)	Этапы оптимизации		Коэффициент напряженности путей после оптимизации
		Первый		
		Изменение	Результат	
Т <sub>1</sub>	112	-4	108	1
Т <sub>2</sub>	134	-28	106	0,98
Т <sub>3</sub>	98	+10	108	1
Т <sub>4</sub>	86	+22	108	1

Коэффициенты напряженности путей после оптимизации сетевого графика максимально приближены к единице:

$$K_{нт1} = \frac{T_1}{T_{кр}} = \frac{108}{108} = 1$$

$$K_{нт2} = \frac{T_2}{T_{кр}} = \frac{106}{108} = 0,98$$

$$K_{нт3} = \frac{T_3}{T_{кр}} = \frac{108}{108} = 1$$

$$K_{нт4} = \frac{T_4}{T_{кр}} = \frac{108}{108} = 1$$

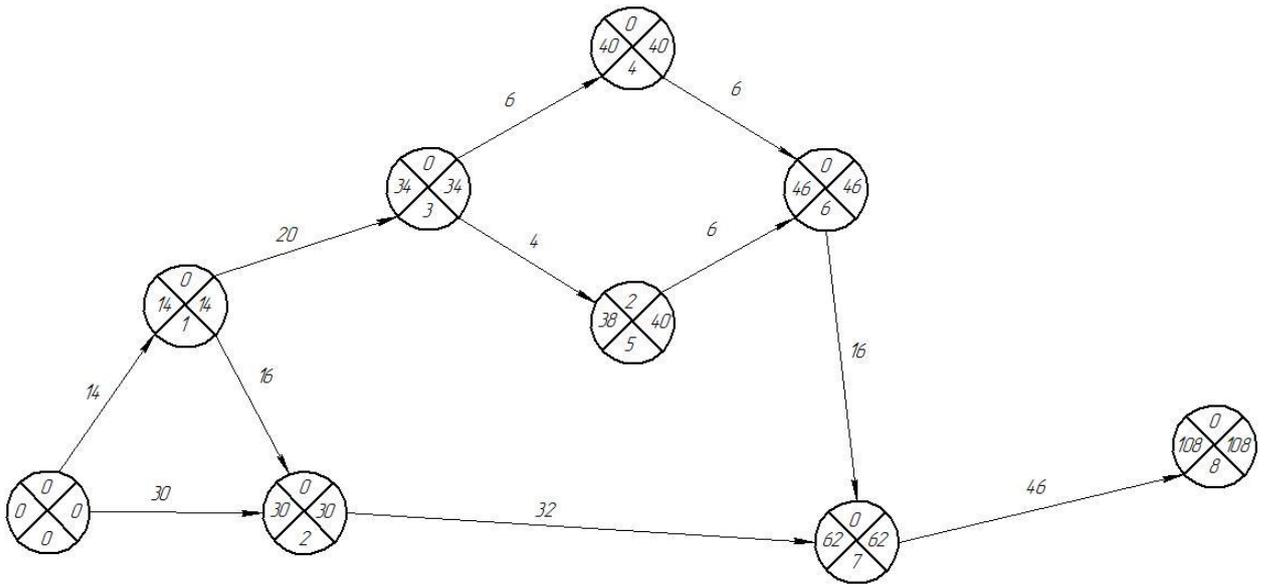


Рисунок 33 – Сетевой график планирования после оптимизации

### 6.3 Расчёт себестоимости проведения НИР

Расчет предпроизводственных затрат.

Для научно-исследовательской организации предпроизводственные затраты являются текущими.

Расчет текущих затрат на проведение данной НИР производится по следующей формуле:

$$Z_{\text{тек}} = 3М + ФЗП + O_{\text{с.н.}} + Z_{\text{э-э}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{пр}} + НР \\ = 1247,75 + 190344 + 68523,84 + 1540 + 2705,12 + 9517,2 + 104689,2 = 378567,11 \text{ руб.}$$

где:

$3М$  – затраты на основные и вспомогательные материалы;

$ФЗП$  – фонд заработной платы (основная и дополнительная заработная плата научно-технического персонала);

$O_{\text{с.н.}}$  – отчисления на социальные нужды;

$Z_{\text{э-э}}$  – затраты на электроэнергию для выполнения исследований;

$Z_{\text{об}}$  – затраты, связанные с эксплуатацией оборудования;

$Z_{\text{пр}}$  – прочие затраты, в которые входит аренда помещений, приобретение образцов или макетов (связанны со спецификой исследования);

$НР$  – накладные расходы (расходы на оплату работы управленческого персонала и охрану труда).

Затраты на основной и вспомогательный материал

$$3М = 3М_{\text{осн}} + 3М_{\text{всп}} = 1218 + 29.75 = 1247.75 \text{ руб.}$$

где:

$3М_{\text{осн}}$  – затраты на основной материал;

$3М_{\text{всп}}$  – затраты на вспомогательный материал.

В данной НИР основными материалами являются алюминий марки А7 и баббит марки Б16.

Затраты на основной материал для выполнения НИР рассчитываются по формуле:

$$3М_{\text{осн}} = 3М_{\text{А7}} + 3М_{\text{Б16}} = 378 + 840 = 1218 \text{ руб.}$$

$$ЗМ_{А7} = Н_{рА7} \times Ц_{мА7} \times U = 0,5 \times 108 \times 7 = 378 \text{ руб}$$

где  $Н_{рА7}$  – норма расхода алюминия А7 на один образец для испытаний, 0,5 кг ;

$Ц_{мА7}$  – оптовая цена 1 кг, 108 руб./кг;

$U$  – количество образцов, испытанных по полной программе, 7 шт.

$$ЗМ_{Б16} = Н_{рБ16} \times Ц_{мБ16} \times U = 0,3 \times 400 \times 7 = 840 \text{ руб}$$

где  $Н_{рБ16}$  – норма расхода алюминия А7 на один образец для испытаний, 0,3 кг ;

$Ц_{мБ16}$  – оптовая цена 1 кг, 400 руб./кг;

$U$  – количество образцов, испытанных по полной программе, 7 шт.

В данной НИР вспомогательным материалом является защитный флюс для плавки алюминия.

$$ЗМ_{всп.} = ЗМ_{фл.} = 29,75 \text{ руб.}$$

где:

$ЗМ_{фл.}$  – затраты на защитный флюс, руб.;

Затраты на защитный флюс рассчитываются по формуле:

$$ЗМ_{фл.} = Н_{фл.} \times Ц_{фл.} \times U = 0,05 \times 85 \times 7 = 29,75 \text{ руб.}$$

где:

$Н_{фл.}$  – норма расхода флюса на один образец, 0,05 кг.;

$Ц_{фл.}$  – цена флюса, 85 руб. за 1кг,

$U$  – количество образцов, испытанных по полной программе, 7 шт.

Затраты на заработную плату научно-технического персонала

$$ФЗП = ЗПЛ_{осн} + ЗПЛ_{доп} = 173040 + 17304 = 190344 \text{ руб.}$$

где:

$ЗПЛ_{осн}$  – основная заработная плата научно-технического персонала;

$ЗПЛ_{доп}$  – дополнительная заработная плата научно-технического персонала.

Основная заработная плата вычисляется по формуле:

$$ЗП_{\text{осн}} = \Sigma T_{\text{раб}} \times C_{\text{д}} \times k_{\text{пр}} \times И =$$

$$103 \times 400 \times 1,4 \times 1 + 103 \times 800 \times 1,4 \times 1 = 173040 \text{ руб.}$$

где  $\Sigma T_{\text{раб}}$  – суммарное время работы каждого участника НИР по всем этапам (в днях);

$C_{\text{д}}$  – дневная ставка каждого участника НИР, инженер – 800 рублей, студент 400 рублей;

$k_{\text{пр}}$  – коэффициент премиальных доплат (можно принять = 1,4);

$И$  – количество исполнителей на каждом этапе, 2 чел.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,1 \times ЗП_{\text{осн}} = 0,1 \times 173040 = 17304 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды вычисляем по формуле:

$$O_{\text{с.н.}} = \frac{N_{\text{соц.}} \times \Phi ЗП}{100} = \frac{36 \times 190344}{100} = 68523,84 \text{ руб.}$$

где:

$N_{\text{соц.}}$  – норма отчислений на социальные нужды = 36%.

Затраты на электроэнергию

Затраты на электрическую энергию для проведения испытаний:

$$З_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{об}} \cdot t_{\text{исп}}}{\eta} \cdot Ц_{\text{э-э}} = \frac{2,2 \times 28}{0,8} \times 4 + \frac{2,2 \times 112}{0,8} \times 4 = 1540 \text{ руб.}$$

где  $M_{\text{об}}$  – мощность оборудования, 2,2 кВт;

$t_{\text{исп}}$  – время использования оборудования, 28 часов – время работы печи, 112 часов – время работы стенда для механических испытаний;

$\eta$  – коэффициент полезного действия оборудования (0,8);

$Ц_{\text{э-э}}$  – цена 1 кВт·часа электроэнергии = 4 руб.

Затраты, связанные с эксплуатацией оборудования

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} = 2701,18 + 3,94 = 2705,12 \text{ руб.}$$

$A_{об}$  – амортизационные отчисления, связанные с эксплуатацией оборудования;

$P_{т.р}$  – расходы на текущий ремонт оборудования;

Затраты на амортизацию оборудования определяем по формуле:

$$A_{об} = \Sigma Ц_{об} \times \frac{N_a \times t_{исп}}{\Phi_{эф} \times 100} = 82000 \times \frac{24 \times 140}{1020 \cdot 100} = 2701,18 \text{ руб.}$$

где:

$N_a$  – норма амортизации по применяемому технологическому оборудованию, 24 %;

$\Sigma Ц_{об}$  – суммарная цена оборудования, необходимого для проведения испытаний, 82000 руб.;

$\Phi_{эф}$  – эффективный фонд времени работы оборудования (можно принять равным 1020 часов);

$t_{исп}$  – время использования оборудования, 503 часа.

Расходы на текущий ремонт оборудования:

$$P_{т.р} = \frac{\Sigma Ц_{об.} \times N_{т.р} \times k_3}{100 \times \Phi_{эф}} = \frac{82000 \times 35 \times 0,14}{100 \cdot 1020} = 3,94 \text{ руб.}$$

где:

$N_{т.р}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования (принимается равной 35%).

$k_3$  – коэффициент загрузки оборудования

$$k_3 = \frac{t_{исп}}{\Phi_{эф}} = \frac{140}{1020} = 0,14$$

Прочие затраты, в которые входит аренда помещений, приобретение образцов или макетов (в зависимости от специфики исследования), принимаем в размере 5% от величины фонда заработной платы научно-технического персонала:

$$З_{пр} = 0,05 \cdot \Phi ЗП = 0,05 \times 190344 = 9517,2 \text{ руб.}$$

Накладные расходы (расходы на оплату работы управленческого персонала и на охрану труда) принимаем в размере 55% от величины фонда заработной платы научно-технического персонала:

$$НР = 0,55 \cdot \Phi ЗП = 0,55 \times 190344 = 104689,2 \text{ руб.}$$

Таблица 23 – Калькуляция себестоимости выполнения НИР

№	Наименование затрат	Затраты, руб.
1.	Затраты на основной материал	1218
2.	Затраты на вспомогательный материал	29,75
3.	Фонд заработной платы	190344
4.	Отчисления на социальные нужды	68523,84
5.	Затраты на электрическую энергию	1540
6.	Затраты связанные с эксплуатацией оборудования	2705,12
7.	Прочие затраты	9517,2
8.	Накладные расходы	104689,2
Сумма: 378567,11 рублей		

### Расчет капитальных затрат

Кроме текущих затрат, при проведении НИР имеют место капитальные затраты. К капитальным затратам относятся затраты на приобретение или создание оборудования, стендов, приборов, экспериментальных установок и других основных фондов.

Капитальные затраты рассчитываются по формуле:

$$K = \Sigma C_{\text{пр.об}} + \Sigma C_{\text{изг}} + P_{\text{т.м}} = 82000 + 7000 + 5740 = 94740 \text{ руб.}$$

где  $\Sigma C_{\text{пр.об}}$  – суммарная цена приобретенного оборудования, 82000руб.;

$\Sigma C_{\text{изг}}$  – суммарная цена изготовленного оборудования, 7000 руб.;

$P_{\text{т.м}}$  – затраты на транспортировку и монтаж оборудования, 5740руб.

Затраты на транспортировку оборудования принимаем:

$$P_{\text{т}} = 0,05 \cdot C_{\text{пр.об}} = 0,05 \times 82000 = 4100 \text{ руб.}$$

Затраты на монтаж оборудования принимаем:

$$P_{\text{м}} = 0,02 \cdot C_{\text{пр.об}} = 0,02 \times 82000 = 1640 \text{ руб.}$$

Расчет приведенных, т.е. общих затрат на проведение НИР

$$Z_{\text{прив}} = Z_{\text{тек}} + K = 378567,11 + 94740 = 473307,11 \text{ руб.}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была поставлена цель повысить эксплуатационные свойства композиционных материалов алюминий-свинец путем исследования процессов формирования и свойств данных композиционных материалов.

Был проведен анализ возможных способов изготовления алюминиево-свинцовых сплавов. Учитывая преимущества и недостатки каждого метода, была предложена технология изготовления алюминиево-свинцового сплава, по которой первоначально изготавливается пеноалюминиевая заготовка, а затем производится ее пропитка расплавом свинца. Были исследованы и повышены физико-механические свойства полученного композиционного материала. Был проведен выбор материала и способа нанесения переходного слоя для создания адгезионной связи между пеноалюминиевой матрицей и свинцовой фазой.

В разделе безопасность и экологичность определены вредные факторы воздействующие на человека и окружающую среду. Определены пожароопасные факторы и способы устранения. Определены мероприятия по уменьшению воздействия вредных факторов на окружающую среду.

В экономической части приведено экономическое обоснование научно-исследовательской работы. Был составлен и оптимизирован сетевой график комплекса работ по выполнению НИР. Были определены общие затраты на проведение НИР.

В результате проделанной работы все задачи выполнены, цель достигнута.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буше Н.А. Подшипники из алюминиевых сплавов [Текст] / Н.А. Буше. – М.: Транспорт, 1974. – С.256
2. Добаткин В.И. Гранулируемые алюминиевые сплавы [Текст] / В.И. Добаткин, В.И. Елагин. – М.: Metallurgia, 1981. – С.176
3. Курицына А. Д. Исследование структуры, механических, антифрикционных и литейных свойств алюминиевых сплавов, содержащих сурьму [Текст] / А. Д. Курицына // Алюминиевые сплавы для подшипников и их применение. – М.: АН СССР, 1954, – С.34–50
4. Беслитковая прокатка алюминиевых антифрикционных сплавов [Текст] / Н.М. Рудницкий, Ю.А. Рассадин, Е.Г. Николаенко // Труды НАМИ, 1966. – Вып. 82. – С.70-81
5. Исследование возможности получения сплавов системы Al-Pb с помощью ультразвука [Текст] / В.Г. Горбунов // Ультразвук в машиностроении, 1969. – Вып. 2. – С.197–201
6. Разработка новых антифрикционных алюминиевых сплавов [Текст] / В.Г. Горбунов // Повышение качества и надежности биметаллических подшипников, 1972. – С.46–47
7. Колачев Б.А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnykh metallor i spлавov [Текст] / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М.: МИСИС, 1999. – С.415
8. Конструкционные материалы [Текст]: Справочник / Б.Н. Арзамасов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – С.688
9. Коротин А.И. Технология нанесения гальванических покрытий [Текст] / А.И. Коротин. – М.: Высшая школа, 1984. – С.200
10. Гинберг А.М. Технология гальванотехники [Текст] / А.М. Гинберг. – Ленинград: СУДПРОМ ГИЗ, 1962. – С.280
11. Справочник по пайке [Текст] / И.Е. Петрунин [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – С.480

12. Влияние никеля на свойства алюминиево-свинцовых композиционных материалов / А.И. Ковтунов, Ю.Ю. Хохлов, С.В. Мямин, А.М. Острячко // Сборник научных трудов по итогам III международной научно – практической конференции «Актуальные вопросы технических наук в современных условиях» С.51-55 Россия г. Санкт-Петербург 11 января 2016 г.
13. Ковтунов, А.И. Исследование процессов формирования пеноалюминия фильтрацией через водорастворимые соли / А.И.Ковтунов, Д.А.Семистенов, Ю.Ю.Хохлов, Т.В.Чермашенцева // Технология легких сплавов.-2011 №4.-С.74-78
14. Свойства композиционных подшипников скольжения/ Ю.Ю. Хохлов, А.И. Ковтунов, С.В. Мямин // IV международная научно – техническая конференция «Резниковские чтения» в двух частях. С.48-51 Часть 2. Россия г.Тольятти 27-29 мая 2015 г.
15. Технология формирования и свойства алюминиево-свинцовых подшипников скольжения/ А.И. Ковтунов, Ю.Ю. Хохлов, И.В. Новский / В мире научных открытий №4.1. (64), 2015г. С.627-634
16. Егоров А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста [Текст] учеб. метод. пособие / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова – Тольятти, 2012, – С.135
17. Краснопевцева И.В. Методическое пособие по выполнению экономической части дипломного проекта [Текст] / И.В.Краснопевцева – Тольятти, 2015, – С.21
18. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта» [Текст] уч.-метод. пособие. / Л.Н Горина., М.И. Фесина- Тольятти, 2016, – 36с.

19. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения [Текст]. -Введ. 1982-01-07.- М. : Государственный комитет по стандартам, 1981-VII, 11с.
20. ГОСТ 12.0.003-74. (СТ СЭВ 790-77) Опасные и вредные производственные факторы [Текст]. - Введ 1976-01-05.- М. : Межгосударственный стандарт, 1974-XI, Переиздание (сентябрь 1999 г.) с Изменением № 1, утвержденным в октябре 1978 г.,3с.