

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

---

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы                                                               |  |  |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| <b>Развитие методики контроля металлов с помощью тонкопленочных фольг</b> |  |  |  |  |
| УДК 620.19:620.179:681.586.7                                              |  |  |  |  |

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 4Б21   | Нагибин Владислав Андреевич |         |      |

Руководитель

| Должность          | ФИО                           | Ученая степень,<br>звание       | Подпись | Дата |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ММС | Бурков Михаил<br>Владимирович | Кандидат<br>технических<br>наук |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                     | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент кафедры<br>МЕН ИСГТ | Грахова Елена<br>Александровна |                           |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                | ФИО                              | Ученая степень,<br>звание     | Подпись | Дата |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|------|
| Профессор кафедры<br>ЭБЖ | Назаренко Ольга<br>Брониславовна | Доктор<br>технических<br>наук |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой                        | ФИО        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Материаловедение в<br>машиностроении | Панин В.Е. | Д. ф.-м.н.,<br>акад. РАН  |         |      |

*Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)*

| <b>Код<br/>результата</b> | <b>Результат обучения<br/>(выпускник должен быть готов)</b>                                                                                                                                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1                        | Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов                          |
| P2                        | Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов                                                      |
| P3                        | Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов   |
| P4                        | Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов                            |
| P5                        | Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде                       |
| P6                        | Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий                                                                                        |
| P7                        | Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования                               |
| P8                        | Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов |
| P9                        | Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство                                                |
| P10                       | Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов                                  |

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Панин В. Е.

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                     |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                            |
|--------|--------------------------------|
| 4Б21   | Нагибину Владиславу Андреевича |

Тема работы:

|                                                                           |                         |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Развитие методики контроля металлов с помощью тонкопленочных фольг</b> |                         |
| Утверждена приказом директора ИФВТ                                        | Приказ № _____ от _____ |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Образцы из технического алюминия и стали 30ХГСН2А, датчики из фольги высокочистого алюминия, машины для испытаний на статическое и циклическое растяжение, приборы для регистрации изображений на поверхности фольги-датчика, персональный компьютер                                                                                                                                                                                                |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; заключение по работе)</i> | Провести аналитический обзор литературы по механическим испытаниям конструкционных материалов, неразрушающему и встроенному контролю. Подготовить образцы с наклеенными на них датчиками из фольги. Провести статические и циклические испытания. Рассмотреть процесс образования деформационного рельефа. Рассчитать информативные параметры. Провести сравнительный анализ деформационного рельефа на поверхности образца и на поверхности фольги |

|                                                                                                    |                                                              |                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>        |                                                              | Графики зависимости напряжения от удлинения<br>Схема нагружения<br>Графики информативных параметров |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |                                                              |                                                                                                     |
| <b>Раздел</b>                                                                                      | <b>Консультант</b>                                           |                                                                                                     |
| <i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>                             | Елена Александровна Грахова, ассистент кафедры МЕН ИСГТ, ТПУ |                                                                                                     |
| <i>Социальная ответственность</i>                                                                  | Ольга Брониславовна Назаренко, профессор кафедры ЭБЖ, ТПУ    |                                                                                                     |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>            |                                                              |                                                                                                     |
| <i>Реферат</i>                                                                                     |                                                              |                                                                                                     |

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

**Задание выдал руководитель:**

| Должность          | ФИО                        | Ученая степень, звание    | Подпись | Дата |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ММС | Бурков Михаил Владимирович | Кандидат технических наук |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 4Б21   | Нагибин Владислав Андреевич |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 59 страницы, 14 рисунков, 22 таблицы, 10 источников.

Ключевые слова: встроенный контроль, датчики деформации интегрального типа, сталь 30ХГСН2А, технический алюминий, статическое растяжение, циклическое растяжение, информативные параметры

Объектом исследования являются образцы из стали 30ХГСН2А и технического алюминия.

Цель работы - испытать образцы технически чистого алюминия и стали 30ХГСН2А на одноосное циклическое растяжение, в процессе которого зарегистрировать и проанализировать изменение рельефа на поверхности материала и на фольге высокочистого алюминия А99999, наклеенной на поверхность.

В результате исследования при статических и циклических испытаниях был изучен процесс образования деформационного рельефа на поверхности фольги высокочистого алюминия, наклеенного на поверхность образцов.

Области применения: авиакосмическая, машиностроительная, нефтехимическая промышленность

Экономическая эффективность/значимость работы: применение систем встроенного контроля в авиакосмической промышленности с целью расширения интервала планового контроля конструкций.

Пояснительная записка выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word компании Microsoft.

Графики реализованы в программе для численного анализа данных и научной графики Origin Pro 8.0.

## **Abstract**

Final qualifying work contains 59 pages, 14 figures, 22 tables, 10 sources.

Keywords: built-in controls, sensors integrated type strain 30HGSN2A steel, aluminum technical, static stretching, cyclic tensile informative parameters

The object of the study are samples of steel 30HGSN2A and industrial aluminum.

Purpose - to test the samples of commercially pure aluminum and steel 30HGSN2A uniaxial cyclic stretch, during which record and analyze the changes in relief on the surface of the material and high-purity aluminum foil A99999 glued to the surface.

As a result of research by the static and cyclic testing has been studied the formation of strain relief on the surface of high-purity aluminum foil bonded to the surface of the samples.

Applications: aerospace, mechanical engineering, petrochemical industry

Cost-effectiveness / value of the work: the use of embedded control systems in the aerospace industry to expand the range of planned constructions control.

The explanatory note is made in the text editor Microsoft Word of Microsoft.

The graphs are implemented in the program for numerical analysis and scientific graphics Origin Pro 8.0.

## Содержание

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                          | 7  |
| 1 Литературный обзор.....                                              | 9  |
| 1.1 Прочность конструкционных материалов.....                          | 9  |
| 1.2 Статические и циклические испытания на растяжение.....             | 11 |
| 1.3 Методы встроенного контроля.....                                   | 12 |
| 2 Методика и материалы.....                                            | 15 |
| 2.1 Подготовка образцов.....                                           | 15 |
| 2.2 Статические и циклические испытания на растяжение.....             | 17 |
| 2.2.1 Статические испытания на растяжение.....                         | 17 |
| 2.2.2 Циклические испытания на растяжение.....                         | 19 |
| 3 Результаты и обсуждение.....                                         | 21 |
| 3.1 Результаты и обсуждение испытаний образцов из алюминия .....       | 21 |
| 3.2 Результаты и обсуждение испытаний образцов из стали 3ХГСН2А.....   | 26 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 29 |
| 5 Социальная ответственность.....                                      | 44 |
| Заключение.....                                                        | 56 |
| Список публикаций.....                                                 | 57 |
| Список использованных источников.....                                  | 58 |

## Введение

Усталостное разрушение является одной из главных причин выхода из строя высоконагруженных конструкций в различных отраслях промышленности: авиации, судостроении, нефтехимии и др. При этом во многих отраслях разрушение может приводить к аварийным ситуациям и катастрофам. Избежать его можно, своевременно обнаружив дефект или повреждение средствами неразрушающего контроля (НК) и проведя ремонт. Существует множество методов НК, обладающих различным диапазоном применимости, чувствительностью и достоверностью контроля. Однако статистика НК свидетельствует о том, что в подавляющем количестве обследованных деталей (более 90-95 %) дефекты не обнаруживаются и конструкция может продолжать эксплуатироваться. Кроме того для проведения контроля часто требуется остановка эксплуатации, что часто требует дополнительных трудозатрат или просто ведет к простоем техники. Таким образом, сегодня концепция планового контроля с четко определенными интервалами начинает вытесняться другим подходом, в литературе называемым Condition Based Monitoring, т.е. контролем по состоянию конструкции. Однако для успешной реализации данного подхода требуется дополнительная информация об условиях и нагрузках, в которых работает конструкция. Так новые промышленные объекты, здания, мосты часто оснащаются сетью распределенных датчиков (тензорезисторов, термометров, акселерометров и др.), что позволяет получать полную картину о нагружении и судить об остаточном ресурсе и необходимости либо полномасштабного контроля, либо ремонта. [1]

Таким образом, данные системы позволяют вести встроенный контроль механического состояния (Structural Health Monitoring). SHM является одним из наиболее перспективных и эффективных путей перехода на качественно новый уровень безопасности и надежности в такой важной отрасли как авиастроение, где очень жестко стоит проблема снижения массы летательных аппаратов и оборудования



Одним из подходов к встроенному контролю деталей является оценка состояния материала с помощью датчиков деформации интегрального типа (ДДИТ) [2]. Суть методики, основанной на использовании ДДИТ, заключается в оптическом наблюдении за поверхностью тонкой фольгой-датчиком, наклеенной на исследуемый материал. В процессе циклического деформирования на поверхности фольги образуется деформационный рельеф, регистрируемый видеодатчиком. Его количественная оценка позволяет анализировать наработку материала и его текущее состояние. Так, например, К. Паже из Европейского авиастроительного концерна «Эйрбас» в [3] обсуждает применение ДДИТ в авиастроении. Автор рассматривает датчики на основе тонких пленок, области их применения, устанавливает требования к функциям датчиков и эксплуатационным условиям окружающей среды, обсуждаются испытания на надежность, необходимые для соответствия требованиям авиационной отрасли.

Однако для достоверной оценки рельефа на данных датчиках необходимо изучить особенности и закономерности его формирования, а также разработать информативные параметры для получения количественной оценки. В работе была поставлена задача испытать образцы технически чистого алюминия и стали 30ХГСН2А на одноосное циклическое растяжение, в процессе которого зарегистрировать и проанализировать изменение рельефа на поверхности материала и на фольге высокочистого алюминия А99999, наклеенной на поверхность.

## **1 Литературный обзор**

### **1.1 Прочность конструкционных материалов**

В современной промышленности большое внимания уделяют вопросу конструкционной прочности. Такой интерес к данному вопросу связан с возникновением в высоконагруженных конструкциях усталостного разрушения, которое является одной из главных причин выхода из строя конструкций в таких отраслях промышленности, как авиастроение, судостроение и др.

Конструкционная прочность – комплекс прочностных свойств, которые находятся в наибольшей корреляции со служебными свойствами данного изделия, обеспечивают длительную и надежную работу материала в условиях эксплуатации.

На конструкционную прочность влияют следующие факторы:

- конструкционные особенности детали (форма и размеры);
- механизмы различных видов разрушения детали;
- состояние материала в поверхностном слое детали;
- процессы, происходящие в поверхностном слое детали, приводящие к отказам при работе.

Необходимым условием создания качественных конструкций при экономном использовании материала является учет дополнительных критериев, влияющих на конструкционную прочность. Этими критериями являются надежность и долговечность.

Надежность – свойство изделий, выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени или сопротивление материала хрупкому разрушению.

Развитие хрупкого разрушения происходит при низких температурах, при наличии трещин, при повышенных остаточных напряжениях, а также при развитии усталостных процессов и коррозии.

Критериями, определяющими надежность, являются температурные пороги хладоломкости, сопротивление распространению трещин, ударная вязкость, характеристики пластичности, живучесть.

Долговечность – способность детали сохранять работоспособность до определенного состояния.

Долговечность определяется усталостью металла, процессами износа, коррозии и другими, которые вызывают постепенное разрушение и не влекут аварийных последствий, то есть условиями работы.

Критериями, определяющими долговечность, являются усталостная прочность, износостойкость, сопротивление коррозии, контактная прочность.

Общими принципами выбора критериев для оценки конструкционной прочности являются:

- аналогия вида напряженного состояния в испытываемых образцах и изделиях;
- аналогия условий испытания образцов и условий эксплуатации (температура, среда, порядок нагружения;
- аналогия характера разрушения и вида излома в образце и изделии. [4]

## 1.2 Статические и циклические испытания материалов на растяжение

Механические свойства характеризуют сопротивление материала деформации, разрушению или особенность его поведения в процессе разрушения. Эта группа свойств включает показатели прочности, жесткости (упругости), пластичности, твердости и вязкости. Основную группу таких показателей составляют стандартные характеристики механических свойств, которые определяют в лабораторных условиях на образцах стандартных размеров. Полученные при таких испытаниях показатели механических свойств оценивают поведение материалов под внешней нагрузкой без учета конструкции детали и условий эксплуатации. По способу приложения нагрузок различают статические испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг или срез. Наиболее распространены испытания на растяжения (ГОСТ 1497-84), которые дают возможность определить несколько важных показателей механических свойств.

Многие детали машин (валы, шатуны, зубчатые колеса) испытывают во время работы повторяющиеся циклические нагружения. Процессы постепенного накопления повреждений в материале под действием циклических нагрузок, приводящие к изменению его свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению, называют усталостью, а свойство противостоять усталости – выносливостью (ГОСТ 23207-78). О способности материалы работать в условиях циклического нагружения судят по результатам испытаний образцов на усталость (ГОСТ 25.502-79). Их проводят на специальных машинах, создающих в образцах многократное нагружение (растяжение – сжатие, изгиб, кручение). Образцы испытывают последовательно на разных уровнях напряжений, определяя число циклов до разрушения. Результаты испытаний изображают в виде кривой усталости, которая строится в координатах: максимальное напряжение цикла  $\sigma_{\max}$  / или  $\sigma_b$  ) – число циклов. Кривые усталости позволяют определять следующие критерии выносливости:

- циклическую прочность, которая характеризует несущую способность материала, т.е. то наибольшее напряжение, которое он способен выдержать за определенное время работы.

- циклическую долговечность – число циклов (или эксплуатационных часов), которые выдерживает материал до образования усталостной трещины определенной протяженности или до усталостного разрушения при заданном напряжении.

Кроме определения рассмотренных критериев многоциклового выносливости, для некоторых специальных случаев применяют испытания на малоцикловую усталость. Их проводят при высоких напряжениях (выше  $\sigma_{0,2}$ ) и малой частоте нагружения (обычно не более 6 ГЦ). Эти испытания имитируют условия работы конструкций (например, самолетных), которые воспринимают редкие, но значительные циклические нагрузки. [5]

### **1.3 Методы встроенного контроля**

В современной промышленности в процессе производства очень часто используются дорогие материалы, технологически сложные изделия, узлы, которые очень часто собираются с помощью неразъемных соединений, что существенно усложняет процесс контроля, вследствие ограниченности или даже невозможности доступа к некоторым частям. Для этих случаев очень привлекательными являются методы встроенного контроля, которые, благодаря системе интегрированных датчиков, не требуют разборки изделия. Кроме того использование таких методов позволяет удешевить процесс контроля, расширить интервалы между точками полномасштабной диагностики, а также повысить безопасность при сохранении исходной прочности. Так, например, в [6] рассматривается вопрос о применении встроенного контроля в такой важной отрасли как авиастроение.

Под встроенным неразрушающим контролем следует понимать метод неразрушающего контроля, который позволяет регистрировать величину приложенных нагрузок, момент возникновения и последующее развитие дефекта в конструкциях в процессе эксплуатации авиационной техники. В общем случае

система, обеспечивающая встроенный неразрушающий контроль, включает в себя датчики (сенсорные элементы) и систему сбора и обработки информации с датчиков.

В общем случае система, обеспечивающая встроенный неразрушающий контроль, включает в себя датчики (сенсорные элементы) и систему сбора и обработки информации с датчиков.

В системе сбора и обработки информации (ССОИ), снимаемой с сенсорного элемента, вывод информации от сенсорного элемента должен осуществляться с наименьшими потерями и по минимальному числу каналов. Соотношение сигнал/шум должно быть не менее 100.

Быстродействие системы должно обеспечивать сбор и обработку данных в режиме реального времени. Система сбора должна содержать аналого-цифровые преобразователи данных от сенсора для передачи цифрового сигнала устройству обработки (микропроцессору), а цифровой сигнал должен передаваться устройству обработки по помехозащищенному каналу.

ССОИ может быть как в составе бортовой ЭВМ, так и выполнено на отдельном микропроцессоре, однако в обоих случаях обязательна регистрация параметров на бортовом самописце («черном» ящике) и индикация на информационном табло пилота при возникновении критических ситуаций.

На рисунок 1 представлена функциональная схема ССОИ на планере. В зонах, где необходимо производить непрерывный мониторинг величины приложенных нагрузок или возникновения дефектов, устанавливаются датчики. Сигнал, коррелирующий со значением деформации (нагрузки) или с возникновением дефекта, поступает от датчика на блок аналого-цифрового преобразователя по каналу данных. Данные от датчика усиливаются (в случае необходимости) и проходят аналого-цифровое преобразование, после чего по помехозащищенному цифровому интерфейсу передаются для математической обработки в микропроцессор или ЭВМ. В них производится накопление данных со всех сенсорных элементов летательного аппарата и их преобразование после соответствующей математической обработки в значения деформации (либо

нагрузок) или регистрируется появление дефекта. Преобразованные данные поступают с определенной периодичностью на бортовую вычислительную машину, где в соответствии с установленными правилами записываются регистратором параметров полета («черный» ящик), и отображаются на информационном табло пилота только при возникновении нагрузки, недопустимой для контролируемой конструкции. На рисунке 1 представлена функциональная схема применения системы ССОИ.

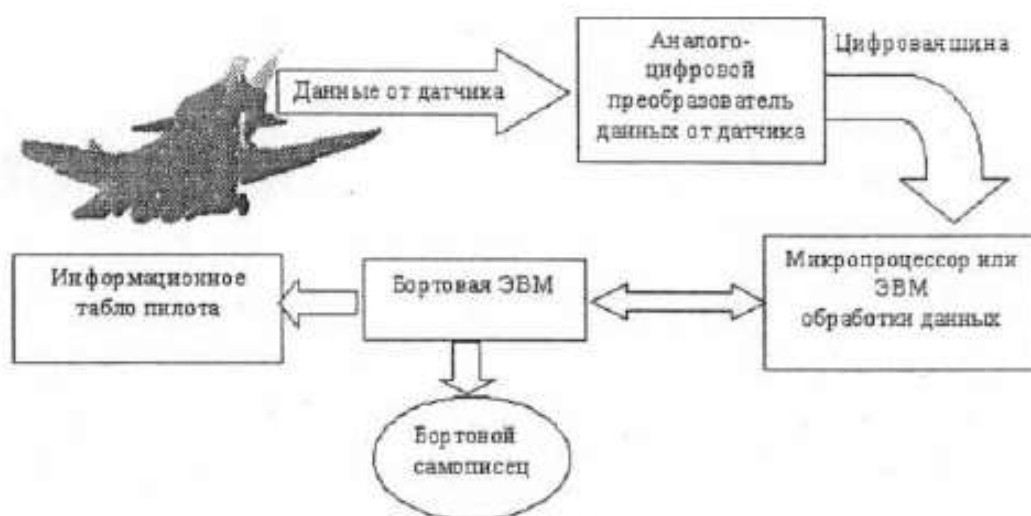


Рисунок 1 – Функциональная схема применения системы сбора и обработки информации, снимаемой с датчика

## 2 Методика и материалы

### 2.1 Подготовка образцов

В работе использовались образцы из стали 30ХГСН2А (1 шт) и технического алюминия (2 шт). Методика исследований представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Методика исследования

Перед проведением испытаний с помощью цифрового штангенциркуля были сняты с размеры образцов представленные на рисунке 3.

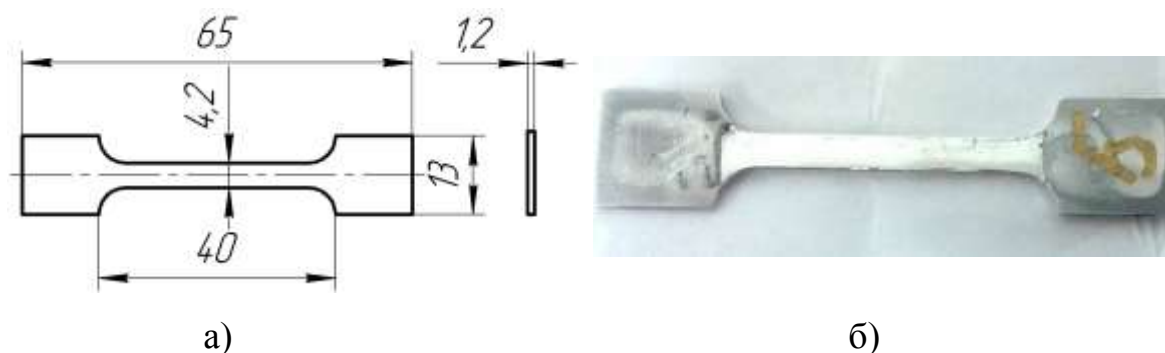


Рисунок 3 - Чертеж образца технически чистого алюминия А1 для испытаний (а) и фотография образца (б)



Приклейка фольг высокочистого алюминия А99999 на поверхности образцов осуществлялась с помощью эпоксидного двухкомпонентного клея 3m scotch weld dp 105. После наклейки фольги-датчика на образец проводили его механическую ступенчатую шлифовку и полировку алмазной пастой разной зернистости. Алмазные пасты оказывают на обрабатываемую поверхность химическое и механическое воздействие. Они образуют тонкодисперсные эмульсии, способствующие более равномерному распределению алмаза в рабочей зоне. В состав паст входят поверхностно-активные вещества, под влиянием которых на поверхности полируемого материала протекают адсорбционные явления, которые облегчают сьем полируемого материала и позволяют снизить время на достижение требуемого качества обрабатываемой поверхности. В зависимости от зернистости алмазные пасты применяются для различных видов обработки. [7] В таблице 1 представлены характеристики алмазного порошка.

Таблица 1 – Характеристики алмазного порошка

| Зернистость<br>алмазного порошка | Шероховатость поверхности Ra, мкм |                 | Вид обработки                  |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
|                                  | До обработки                      | После обработки |                                |
| 125/100 - 50/40                  | -                                 | -               | черновая доводка               |
| 60/40, 40/28                     | 0.4 – 0.2                         | 0.195 – 0.155   | черновая доводка               |
| 28/20 - 14/10                    | 0.16 – 0.1                        | 0.12 – 0.075    | предварительная доводка        |
| 10/7 – 5/3                       | 0.08 – 0.05                       | 0.06 – 0.038    | точная доводка                 |
| 3/2 – 1/0                        | 0.04 – 0.025                      | 0.03 – 0.02     | предварительное<br>полирование |
| 1/0.5 – 0.1/0                    | -                                 | -               | полирование                    |

## 2.2. Статические и циклические испытания на растяжение

### 2.2.1 Статические испытания на растяжение

Данный вид испытаний является подготовительным и служит только для определения предела прочности образцов стали 30XCH2A и технического алюминия. Испытание на статическое растяжение проводили на электромеханической испытательной машине Instron 5582.

На рисунке 4 представлен график зависимости напряжения от удлинения образца из стали 30XГCH2A.

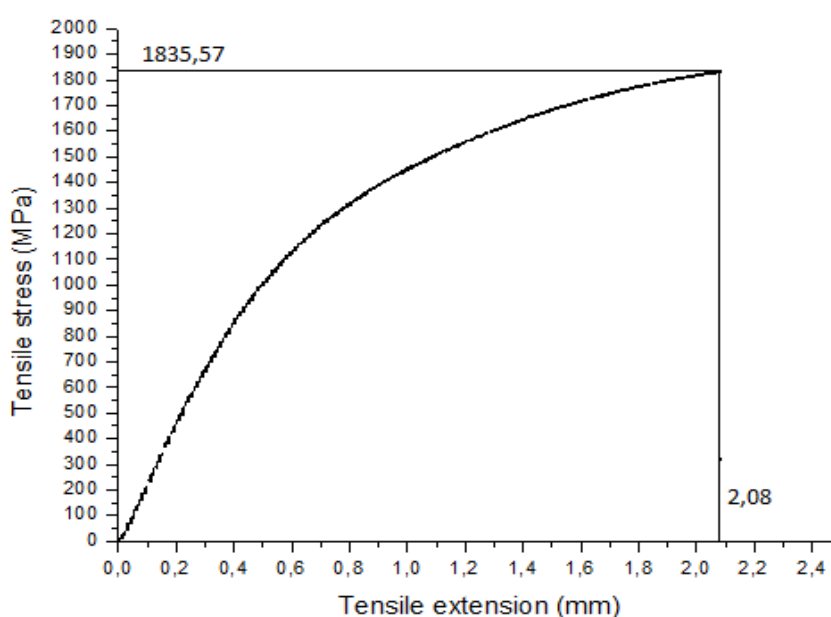


Рисунок 4 - График зависимости напряжения от удлинения образца из стали 30XГCH2A

Наибольшая нагрузка, которую выдерживает данный образец без появления остаточной пластической деформации при разгрузке, определяет предел упругости материала:  $\sigma_B=1835,57$  МПа, при этом удлинение образца составило  $\epsilon_B=2,08$  мм. Низкое значение удлинения показывает, что сталь подвергается упругой деформации, но за счет высокой прочности не имеет пластичности, т.е. пластичной деформации не наблюдается. После нагрузки в 1835,57 МПа образец разрушился.



Рисунок 5 - Разрушенный образец из стали 30ХГСН2А в зажимах

На рисунке 6 представлен график зависимости напряжения от удлинения образца из технического алюминия.

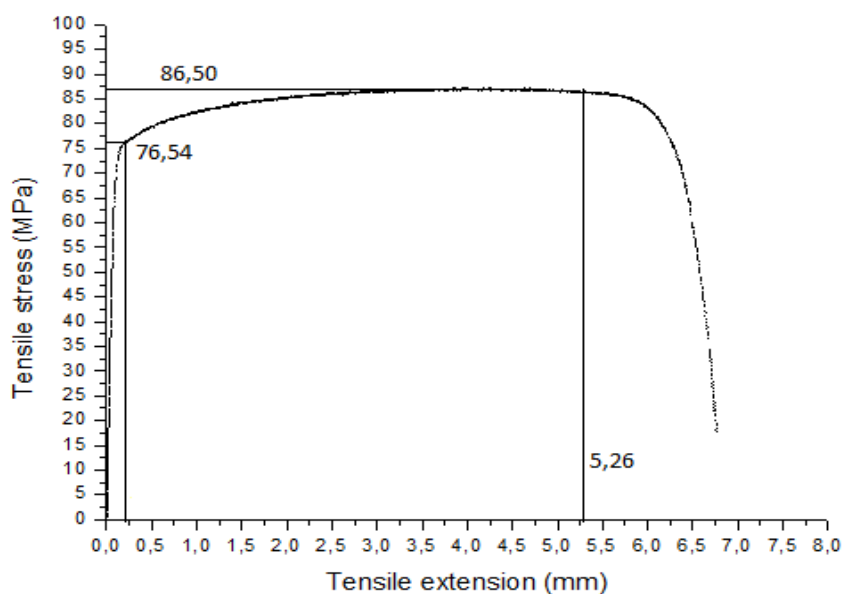


Рисунок 6 - График зависимости напряжения от удлинения образца из технического алюминия

Образец подвергался упругой деформации, после – пластической. Сравнив по значениям, полученным в ходе эксперимента со стальным образцом, можно заметить, что удлинение алюминиевого образца значительно больше. Это объясняется пластичностью материала образца.

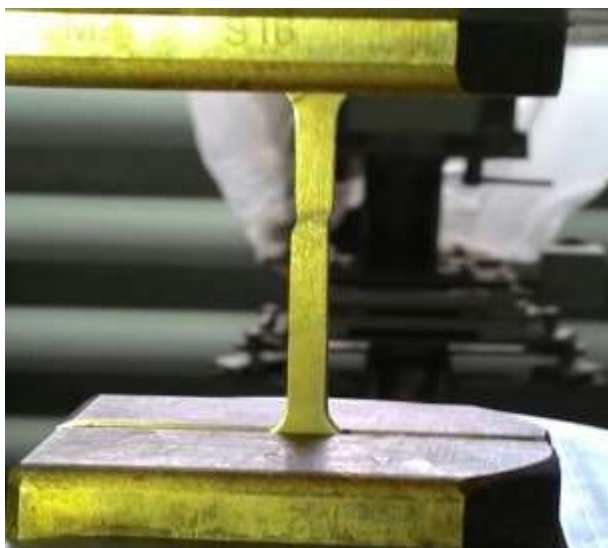


Рисунок 7 – Образец из технического алюминия в зажимах

### 2.2.2 Циклические испытания на растяжение

Для испытаний на циклическое одноосное растяжение использовали сервогидравлическую испытательную машину BiSS 00-201, оснащенную гидравлическими захватами. На основании данных, полученных при статических испытаниях были получены следующие механические характеристики алюминиевого сплава А1 ( $\sigma_b=88,3$  МПа,  $\sigma_{тц} \sim 69,5$  МПа) и рассчитаны параметры циклического нагружения. Синусоидальное циклическое нагружение с частотой 10 Гц и асимметрией цикла  $R=0,1$  начинали с величины максимальной нагрузки нагрузки цикла  $\sigma_{max}=0,6 \cdot \sigma_b$ , далее повышая ее согласно методике, которая будет описана ниже. Для регистрации изображений образца использовали микроскоп Альтами MB0670 с цифровой камерой Basler piA2400-17gc с максимальным разрешением изображений 2454x2056. Освещение осуществлялось с помощью бокового светоделительного ввода, в качестве источника использован светодиодный осветитель.

Для анализа изображений рельефа рассчитывали следующие информативные параметры: среднеквадратичная ошибка (Mean square error – MSE), информационная энтропия (Shannon entropy – H), фрактальная размерность (Fractal dimension –  $D_f$ ).

Параметр MSE может быть рассчитан только по паре изображений, в то время как для вычисления двух остальных достаточно одного текущего изображения.

Среднеквадратичная ошибка (в зарубежной литературе: mean square error *MSE*). Метод основан на вычислении СКОш между двумя изображениями по формуле

$$CKOш = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - Y_i)^2,$$

где  $N$  – общее количество пикселей,  $\hat{Y}_i$  – яркость пикселя зашумленного изображения,  $Y_i$  – яркость пикселя исходного изображения.

Информационная энтропия. Для расчета данного параметра первоначально для исходного изображения строили гистограмму *HIST*: количество значений пикселей для каждого уровня яркости. Величину  $H$  вычисляли по следующей формуле:

$$H = - \sum_{i=0}^{255} \frac{HIST_i}{255} \log_2 \frac{HIST_i}{255},$$

где  $i$  – яркость пикселя,  $HIST_i$  – число пикселей с яркостью  $i$ .

Расчет ФР по методу изаритм. Метод [9] основан на предположении, что численную оценку ФР поверхности изображения можно получить, исходя из 40 фрактальных оценок его контурных изолиний (линий равных значений яркости) – изаритм. Реализация метода оценки ФР поверхности начинается с построения серии контурных изолиний поверхности – изаритм, лежащих друг от друга на расстоянии заданного интервала. Далее для каждой изаритмы оценивали ее ФР,  $D$  – параметр, вычисляемый с помощью уравнения регрессионной прямой

$$\log(L_i) = C + B \cdot \log(F),$$

где  $L_i$  – длина изаритмы при текущем шаге  $F$  (1, 2, 4, 8, 16, 32, ...),  $B$  – тангенс угла наклона регрессионной кривой,  $C$  – константа. Длина каждой изаритмы оценивается последовательно с разным шагом  $F$ , измеряемым в пикселях. Количество шагов подбирается эмпирически и напрямую влияет на точность оценки параметра  $D$ , который вычисляется как

$$D = 1 - B.$$

Чем больше размер шага, используемого для вычисления длины изаритмы, тем меньше ее длина. Это, в свою очередь, приводит к получению отрицательного тангенса угла наклона  $B$  регрессионной кривой. Так, для прямолинейной линии угол  $B$  всегда будет нулевым. Для бесконечно сложной кривой значение  $B$  будет отрицательным и равным  $-1$ . Параметр  $D$  поверхности вычисляется как параметр кривой плюс единица, то есть

$$D = 2 - B.$$

Таким образом, в ходе реализации метода для каждой изаритмы оценивали свое значение ФР, для всей поверхности изображения – путем усреднения значений ФР всех изаритм. [8]

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

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование методики контроля металлов с помощью тонкопленочных фольг.

Целью данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности, целесообразности проведения научного исследования с точки зрения ресурсоэффективности.

В задачи раздела входит: определение концепции научного исследования (инициализация научного исследования), планирование научного исследования, расчет бюджета научного исследования, определение научно-технического уровня исследования.

### **4.1 Инициализация проекта. Потенциальные потребители проекта**

В современной промышленности в процессе производства очень часто используются дорогие материалы, технологически сложные изделия, узлы, которые очень часто собираются с помощью неразъемных соединений, что существенно усложняет процесс контроля, вследствие ограниченности или даже невозможности доступа к некоторым частям. Для этих случаев очень привлекательными являются методы встроенного контроля, которые, благодаря системе интегрированных датчиков, не требуют разборки изделия. Кроме того использование таких методов позволяет удешевить процесс контроля, расширить интервалы между точками полномасштабной диагностики, а также повысить безопасность при сохранении исходной прочности.

Одним из подходов к встроенному контролю деталей является оценка состояния материала с помощью ДДИТ (датчика деформации интегрального типа). Суть методики, основанной на использовании ДДИТ, заключается в оптическом наблюдении за поверхностью тонкой алюминиевой фольги-датчика, наклеенной на исследуемый материал. В процессе циклического деформирования на поверхности фольги формируется деформационный рельеф, регистрируемый видеодатчиком.

Количественная оценка первого позволяет анализировать наработку материала и его текущее состояние.

Потенциальными потребителями результатов данного НИ исследования могут быть различные предприятия аэрокосмической отрасли, расположенные на территории Российской Федерации и других стран.

## 4.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. Для анализа данного НИ составлена таблица 2.

Сначала описываются сильные и слабые стороны НИ, для выявления возможностей и угроз реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 2 – SWOT анализ проекта

| Сильные стороны                                                                                                                                                                                                                                          | Возможности во внешней среде                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| С1. Методика контроля металлов с помощью тонкопленочных фольг является современным методом;<br>С2. Метод, описанный в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность;<br>С3. Наличие опытного руководителя;<br>С4. Актуальность исследований. | В1. Возможность адаптации НИ на иностранные языки;<br>В2. Использование данной методики не только в России, но и за рубежом. |
| Слабые стороны                                                                                                                                                                                                                                           | Угрозы внешней среды                                                                                                         |
| Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с данным методом;<br>Сл2. Трудоемкость процесса.                                                                                                                         | У1. Отсутствие спроса на использование данной методики;                                                                      |



Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон НИ внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 3 – Сильные стороны НИ

| Возможности<br>НИ |    | C1 | C2 | C3 | C4 |
|-------------------|----|----|----|----|----|
|                   | B1 | +  | +  | +  | +  |
|                   | B2 | +  | +  | -  | +  |

При анализе данной интерактивной матрицы НИ можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможностей: B1C1C2C3C4, B2C1C2C4.

Таблица 4 – Слабые стороны НИ

| Возможности<br>НИ |    | Сл1 | Сл2 |
|-------------------|----|-----|-----|
|                   | B1 | 0   | 0   |
|                   | B2 | +   | +   |

При анализе данной интерактивной матрицы НИ можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможностей: B2СлСл2.

Таблица 5 – Сильные стороны НИ

| Угрозы |    | C1 | C2 | C3 | C4 |
|--------|----|----|----|----|----|
|        | У1 | +  | +  | +  | +  |

При анализе данной интерактивной матрицы НИ можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможностей: У1C1C2C3C4.

Таблица 6 – Слабые стороны НИ

| Возможности<br>НИ |    | Сл1 |
|-------------------|----|-----|
|                   | У1 | +   |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующих слабых сторон и возможностей: У1Сл1.

При проведении комплексного анализа НИ выяснилось, что наибольшей угрозой для данного НИ является отсутствие спроса на использование данной методики. Отсутствие спроса связано с возникновением новых методик контроля металлов.

Из слабых сторон данного НИ можно отметить трудоемкость процесса контроля металлов и сложность обработки полученных данных.

### 4.3 Планирование работ по научному исследованию

#### 4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для правильного планирования, а также финансирования и определения трудоемкости выполнения НИР необходимо ее разбить на этапы. Под этапом понимается крупная часть работы, которая имеет самостоятельное значение и является объемом планирования и финансирования. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                 | № работы | Содержание работы                           | Должность исполнителя                                             |
|------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Разработка задания на НИР                      | 1        | Составление и утверждение задания ВКР       | Бурков М.В. – руководитель;<br>Нагибин В.А. – студент-исполнитель |
| <b>Проведение НИР</b>                          |          |                                             |                                                                   |
| Выбор направления исследования                 | 2        | Выбор материала образцов для проведения НИР | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       |
|                                                | 3        | Подбор и изучение материалов по теме НИР    | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       |
|                                                | 4        | Календарное планирование работ              | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 5        | Подготовка образцов для проведения НИР      | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       |
|                                                | 6        | Проведение статических испытаний            | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       |
|                                                | 7        | Проведение циклических испытаний            | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       |

|                                |    |                                       |                             |
|--------------------------------|----|---------------------------------------|-----------------------------|
| Обобщение и оценка результатов | 8  | Обработка данных                      | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. |
|                                | 9  | Анализ полученных результатов, выводы | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. |
| Составление отчета             | 10 | Оформление отчета НИР                 | Нагибин В.А.                |
| Защита отчета                  | 11 | Защита отчета                         | Нагибин В.А.                |

### 4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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 наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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.

Результаты расчетов данных параметров приведены в таблице 8.

#### 4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения ВКР в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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

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

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

*Расчет коэффициента календарности:*

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу (таблица 8).

Таблица 8 – Временные показатели проведения НИР

| №<br>раб. | Исполнители                 | $t_{\min}$<br>чел.-<br>дн. | $t_{\max}$<br>чел.-<br>дн. | $t_{\text{ож}}$<br>чел.-<br>дн. | $T_{\text{pi}}$<br>раб.дн | $T_{\text{ki}}$<br>кал.дн |
|-----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|           |                             |                            |                            |                                 |                           |                           |
| 1         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 1                          | 4                          | 2                               | 1                         | 2                         |
| 2         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 1                          | 4                          | 2                               | 1                         | 2                         |
| 3         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 4                          | 23                         | 11                              | 5,5                       | 8                         |
| 4         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 2                          | 3                          | 2                               | 1                         | 2                         |
| 5         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 4                          | 23                         | 11                              | 5,5                       | 8                         |
| 6         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 4                          | 23                         | 11                              | 5,5                       | 8                         |
| 7         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 4                          | 23                         | 11                              | 5,5                       | 8                         |
| 8         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 4                          | 23                         | 11                              | 5,5                       | 8                         |
| 9         | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 4                          | 23                         | 11                              | 5,5                       | 8                         |
| 10        | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А. | 4                          | 23                         | 11                              | 5,5                       | 8                         |
| 11        | Нагибин В.А.                | 2                          | 3                          | 2                               | 2                         | 3                         |
| ИТОГО     |                             |                            |                            |                                 |                           | 65                        |

На основе таблицы 8 построили календарный план-график (таблица 9). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 9 – Календарный план разработки проекта

| #  | Вид работы                                  | Исполнители                                                       | T <sub>Ki</sub> | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь |
|----|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|---------|------|--------|-----|------|
| 1  | Составление и утверждение задания ВКР       | Бурков М.В. – руководитель;<br>Нагибин В.А. – студент-исполнитель | 2               |         |      |        |     |      |
| 2  | Выбор материала образцов для проведения НИР | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 2               |         |      |        |     |      |
| 3  | Подбор и изучение материалов по теме НИР    | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 8               |         |      |        |     |      |
| 4  | Календарное планирование работ              | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 2               |         |      |        |     |      |
| 5  | Подготовка образцов для проведения НИР      | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 8               |         |      |        |     |      |
| 6  | Проведение статических испытаний            | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 8               |         |      |        |     |      |
| 7  | Проведение циклических испытаний            | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 8               |         |      |        |     |      |
| 8  | Обработка данных                            | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 8               |         |      |        |     |      |
| 9  | Анализ полученных результатов, выводы       | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 8               |         |      |        |     |      |
| 10 | Оформление отчета НИР                       | Бурков М.В.<br>Нагибин В.А.                                       | 8               |         |      |        |     |      |
| 11 | Защита ВКР                                  | Нагибин В.А.                                                      | 3               |         |      |        |     |      |

Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней. На разработку данного проекта потребуется 65 рабочих дней.

 Руководитель

 Студент-исполнитель

#### 4.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Целью данного раздела является расчет сметы расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.техн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

##### 4.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

В данной работе в качестве исследуемого материала использовались образцы из технического алюминия и стали 30ХГСН2А. Для регистрации и анализа изменения деформационного рельефа на поверхность образцов была наклеена фольга из высокочистого алюминия А99999. Наклейка фольги осуществлялась с помощью эпоксидного двухкомпонентного клея 3m scotch weld dp 105.

Стоимость основных и вспомогательных материалов приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Стоимость основных и вспомогательных материалов НТИ

| № | Материал                         | Единица материала | Цена, р./ед. | Кол - во, ед. | Затраты на НИР, р. |
|---|----------------------------------|-------------------|--------------|---------------|--------------------|
| 1 | Образцы из технического алюминия | шт                | 200          | 4             | 800                |
| 2 | Образцы из стали 30ХГСН2А        | шт                | 350          | 4             | 1400               |
| 3 | Фольга из высокочистого          | кг                | 7000         | 0,5           | 3500               |

|                       |                                                                 |    |     |   |      |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|----|-----|---|------|
|                       | алюминия А99999                                                 |    |     |   |      |
| 4                     | Эпоксидный<br>двухкомпонентный<br>клей 3m scotch weld<br>dp 105 | шт | 400 | 1 | 400  |
| Итого:                |                                                                 |    |     |   | 6100 |
| Неучтенные расходы 1% |                                                                 |    |     |   | 61   |
| Всего:                |                                                                 |    |     |   | 6161 |

#### 4.3.4.2 Затраты на амортизацию оборудования

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{\phi}) / (F_{н} \cdot F_{сс}),$$

где Ц – цена оборудования, р.;  $F_{н}$  – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;  $F_{сс}$  – срок службы оборудования, год;  $F_{\phi}$  – фактическое время занятости оборудования в НИР, ч.  $F_{н} = 365 - 104 - 11 = 250$  дней = 2000 ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 11.

Таблица 11 - Затраты на амортизацию оборудования

| № | Наименование оборудования                                                                  | Ц, р.  | $F_{сс}$ ,<br>год | $F_{\phi}$ , ч. | $З_{об}$ , р. |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------|-----------------|---------------|
| 1 | Универсальная машина для статических испытаний с электромеханическим приводом INSTRON 5582 | 320000 | 15                | 5               | 606           |
| 2 | Сервогидравлическая испытательная машина Nano Biss                                         | 800000 | 15                | 30              | 800           |



|        |           |       |   |     |       |
|--------|-----------|-------|---|-----|-------|
| 3      | Компьютер | 30000 | 8 | 500 | 10653 |
| ИТОГО: |           |       |   |     | 12059 |

### 1.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей НИ

Заработная плата начисляется за отработанное время и включает в себя дополнительные надбавки (премия, районный коэффициент и надбавки за сложность проекта).

В данном НИ задействованы 2 человека: научный руководитель и студент-исполнитель (студент-дипломник). Поскольку в качестве инженеров НИ выступал студент-дипломник, то зарплата начислялась только для заведующего лабораторией.

Руководитель НИ имеет оклад 15000 руб.

*Расчет основной заработной платы руководителя проекта:*

$$ЗП_{\text{рук.}} = (З_{\text{ок}} + k_{\text{пр}}) * k_{\text{р}},$$

где  $З_{\text{ок}} = 15000$  руб. – оклад;

$k_{\text{пр}}$  – премия (30% от оклада);

$k_{\text{р}} = 1,5$  – районный коэффициент;

$$ЗП_{\text{рук.}} = (15000 + 4500) * 1,5 = 29250 \text{ руб./мес.}$$

*Расчет дневной заработной платы руководителя проекта:*

$$ЗП_{\text{рук.д.}} = \frac{ЗП_{\text{рук.}}}{F_{\text{д}}},$$

где  $F_{\text{д}} = 22$  дня – количество рабочих дней в месяце;

$$ЗП_{\text{рук.д.}} = \frac{29250}{22} = 1329,5 \text{ руб./день}$$

*Расчет заработной платы руководителя проекта за период работы:*

$$ЗП_{\text{рук.пер.}} = ЗП_{\text{рук.д.}} * F_{\text{пер}},$$

где  $F_{\text{пер}} = 170$  дней – период работы руководителя проекта;

$$ЗП_{\text{рук.пер.}} = 1329,5 * 170 = 226015 \text{ руб.}$$

Таблица 12 -Расчёт основной заработной платы

| Должность               | Основная з.п., руб. | Дневная з.п., руб. | З.п. за период, руб. |
|-------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Руководитель<br>проекта | 29250               | 1329,5             | 226015               |
| Итого                   |                     |                    | 226015               |

Фонд оплаты труда: 226015 р.

#### 1.3.4.4 Страховые отчисления

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.

Таким образом, затраты на страховые отчисления составят:

$$226015 \cdot 0,271 = 61250,06 \text{ р.}$$

#### 4.3.4.5 Смета затрат на НИ

Прямые затраты на проведение НИ представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Прямые затраты на проведение НИ

| №      | Затраты                              | Сумма, р. |
|--------|--------------------------------------|-----------|
| 1      | Основные и вспомогательные материалы | 6161      |
| 2      | Основная заработная плата            | 226015    |
| 3      | Страховые отчисления                 | 61250,06  |
| Итого: |                                      | 293426,06 |

Расшифровка накладных расходов для проведения НИ представлена в таблице 14.

Прочие накладные расходы составят 50% от основной заработной платы, т.е.

$$0,5 \times 226015 = 113007,5 \text{ р.}$$

Таблица 14 - Накладные расходы для проведения НИ

| №      | Затраты                  | Сумма, р. |
|--------|--------------------------|-----------|
| 1      | Амортизация оборудования | 12059     |
| 2      | Прочие                   | 113007,5  |
| Итого: |                          | 125066,5  |

Общие затраты на проведение НИ равны сумме прямых и накладных затрат:

$$293426,06 + 125066,2 = 418492,56 \text{ р.}$$

Смета затрат для проведения НИ представлена в таблице 15.

Таблица 15 - Смета затрат на НИР

| Элементы затрат                         | Сумма, р.  |
|-----------------------------------------|------------|
| Основная заработная плата               | 226015     |
| Страховые отчисления                    | 61250,06   |
| Основные и вспомогательные материалы    | 6161       |
| Амортизация оборудования                | 12 059     |
| Прочие накладные расходы                | 113 007,5  |
| Плановая прибыль (рентабельность P=25%) | 125547,76  |
| Цена выполнения НИР                     | 544040,32  |
| НДС (18%)                               | 97927.2    |
| Всего с НДС                             | 641 967,52 |

Таким образом, в данном разделе работы проведено экономическое обоснование проведенных исследований, рассчитана цена на проведение НИ (641967,52 р.).

#### 4.5 Определение научно-технической эффективности НИ

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности НИ необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i ,$$

где  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го признака;

$П_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Таблица 16 – Весовые коэффициенты НТУ

| Признаки НТУ           | Весовой коэффициент |
|------------------------|---------------------|
| Уровень новизны        | 0.6                 |
| Теоретический уровень  | 0.4                 |
| Возможность реализации | 0.2                 |

Таблица 17 – Шкала оценки новизны

| Баллы | Уровень                  |
|-------|--------------------------|
| 1-4   | Низкий НТУ               |
| 5-7   | Средний НТУ              |
| 8-10  | Сравнительно высокий НТУ |
| 11-14 | Высокий НТУ              |

Таблица 18 – Значимость теоретических уровней

| Характеристика значимости теоретических уровней                                                             | Баллы |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Установка законов, разработка новой теории                                                                  | 10    |
| Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами                       | 8     |
| Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)                                                        | 6     |
| Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации) | 2     |
| Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)                                         | 0.5   |

Таблица 19 – Возможность реализации по времени и масштабам

| <u>Время реализации</u>        | Баллы |
|--------------------------------|-------|
| В течение первых лет           | 10    |
| От 5 до 10 лет                 | 4     |
| Свыше 10 лет                   | 2     |
| <u>Масштабы реализации</u>     | Баллы |
| Одно или несколько предприятий | 2     |
| Отрасль                        | 4     |
| Народное хозяйство             | 10    |

$$k_1 = 0.6, \Pi_1 = 7, k_2 = 0.4, \Pi_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, \Pi_3 = 10, k_4 = 0.2, \Pi_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 7 + 0.4 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 10.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данное НИ хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

### **Список публикаций студента**

1. В.А. Нагибин, М.В. Бурков Изучение процесса образования деформационного рельефа при циклических испытаниях образцов технически чистого алюминия – Международная конференция «Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении» - 2016.

### Список использованных источников

1. В.А. Нагибин, М.В. Бурков Изучение процесса образования деформационного рельефа при циклических испытаниях образцов технически чистого алюминия – 2016. – с. 1-2.
2. Hellier, Chuck, Handbook of Nondestructive Evaluation, (2001) McGraw-Hill Professional, New York, USA.
3. Паже К. Применение датчиков на основе тонких металлических пленок для контроля целостности конструкций воздушных судов // Физическая мезомеханика. — 2007. — Т. 10, № 6. — С. 43-48.
4. Конструкционная прочность материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studopedia.org/4-83168.html>. – (Дата обращения: 20.02.2016).
5. Механические свойства материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/108796>. – (Дата обращения: 18.01.2016).
6. Г.Ф. Железина, Д.В. Сиваков, И.Н. Гуляев Встроенный контроль: от датчиков до информкомпозитов.
7. Алмазные пасты - описание, характеристика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://tochilo-vo.7910.org/article\\_info.php?articles\\_id=4](http://tochilo-vo.7910.org/article_info.php?articles_id=4) – (Дата обращения: 20.02.2016).
8. Mikhail Burkov, Sergey Panin, Pavel Lyubutin, Alexander Eremin, Pavlo Maruschak, Abdellah Menou, Aluminum Foil Based Fatigue Sensor for Structural Health Monitoring of Carbon Fiber Composites // Procedia Technology (8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tirgu Mures, Romania) – V. 19 – 2015 – P. 307–312.
9. Панин С.В., Любутин П.С., Бурков М.В., Алтухов Ю.А., Хижняк С.А., Кузнецов В.П. Исследование различных критериев оценки серии оптических изображений в методе датчика деформации интегрального типа // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 19. – №3. – С. 103-118.