

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

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.01 - Машиностроение  
Отделение Материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
| Модернизация конструкции и технологии изготовления герметичного кожуха |  |  |  |  |

УДК: 621.81.002:62-762

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 4АМ92  | Петрушов Владимир Сергеевич |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Коротков В.С. | К.Т.Н.                    |         |      |

Консультант

| Должность             | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Цыганков Р.С. |                           |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Кащук И.В. | К.Т.Н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность             | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Скачкова Л.А. |                           |         |      |

По разделу «Иностранный язык»

| Должность             | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Михайлова О.В. |                           |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП

| Должность                                      | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--|---------------|---------------------------|---------|------|
| 15.04.01<br>Машиностроение,<br>доцент ОМ ИШНПТ | Мартюшев Н.В. | К.Т.Н.                    |         |      |

Томск 2021

## Планируемые результаты обучения

| Код компетенции СУОС                    | Наименование компетенции СУОС   |
|---|---|
| <b>Универсальные компетенции</b>        |   |
| УК(У)-1                                 | Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий   |
| УК(У)-2                                 | Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа   |
| УК(У)-3                                 | Способность организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели   |
| УК(У)-4                                 | Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия  |
| УК(У)-5                                 | Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения  |
| УК(У)-6                                 | Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций   |
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b> |   |
| ОПК(У)-1                                | Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки   |
| ОПК(У)-2                                | Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы   |
| ОПК(У)-3                                | Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере  |
| ОПК(У)-4                                | Способность осуществлять экспертизу технической документации  |
| ОПК(У)-5                                | Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов |

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| ОПК(У)-6                            | Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными   |
| ОПК(У)-7                            | Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности  |
| ОПК(У)-8                            | Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения   |
| ОПК(У)-9                            | Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений  |
| ОПК(У)-10                           | Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников  |
| ОПК(У)-11                           | Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения  |
| ОПК(У)-12                           | Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения  |
| ОПК(У)-13                           | Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения   |
| ОПК(У)-14                           | Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении  |
| <b>Профессиональные компетенции</b> |  |
| ПК(У)-1                             | Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку  |
| ПК(У)-2                             | Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении   |
| ПК(У)-3                             | Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии  |
| ПК(У)-4                             | Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения  |
| ПК(У)-5                             | Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении |

|          |  |
|----------|--|
| ПК(У)-6  | Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства  |
| ПК(У)-7  | Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия  |
| ПК(У)-8  | Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов  |
| ПК(У)-9  | Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов  |
| ПК(У)-10 | Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности   |
| ПК(У)-11 | Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности |
| ПК(У)-12 | Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности   |
| ПК(У)-13 | Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении  |

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

Школа ИШНПТ

Направление подготовки (специальность) 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Отделение Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП 15.04.01

\_\_\_\_\_ Мартюшев Н.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                                 |
|---------------------------------|
| <b>МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ</b> |
|---------------------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО                         |
|--------|-----------------------------|
| 4АМ92  | Петрушов Владимир Сергеевич |

Тема работы:

|  |                        |
|--|------------------------|
| Модернизация конструкции и технологии изготовления герметичного кожуха |                        |
| Утверждена приказом директора ИШНПТ (дата, номер)                      | 102-33/с от 12.04.2021 |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 07.06.2021 |
|--|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |  |
|---|--|
| <b>Исходные данные к работе</b>   | <ol style="list-style-type: none"><li>Чертеж детали «Кожух»</li><li>Техническое задание на проектирование изделия.</li></ol>   |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | <ol style="list-style-type: none"><li>Выполнить литературный обзор по теории прочности и надежности деталей машин, способам сварки ответственных изделий.</li><li>Модернизировать конструкцию кожуха для повышения его жесткости и надежности.</li><li>Выполнить расчет нагруженного состояния кожуха.</li><li>Разработать технологию изготовления и сварки кожуха обеспечивающую снижение процента брака при испытаниях на герметичность.</li></ol> |
| <b>Перечень графического материала</b>  | <ol style="list-style-type: none"><li>3-D модели различных конструкций изделия.</li><li>Эпюры напряжений возникающих в кожухе при испытаниях.</li><li>Графики полученных зависимостей.</li></ol>   |

| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>                       |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>            |
| Финансовый менеджмент,<br>ресурсоэффективность и ресурсосбережение                      | Кашук Ирина Вадимовна         |
| Социальная ответственность  | Скачкова Лариса Александровна |
| Раздел ВКР на иностранном языке   | Айкина Татьяна Юрьевна        |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b> |                               |
| <b>1.1 Literaryreview</b>   |                               |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 28.11.2019 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

| <b>Должность</b>      | <b>ФИО</b>    | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|-----------------------|---------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доц. ОМ ИШНПТ         | Коротков В.С. | канд. техн. наук              |                | 28.11.2019  |
| Старший преподаватель | Цыганков Р.С. | -                             |                | 28.11.2019  |

**Задание принял к исполнению студент:**

| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                  | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| 4АМ92         | Петрушов Владимир Сергеевич |                | 28.11.2019  |

## **Реферат**

Магистерская диссертация состоит из 126 страниц, содержит 26 рисунков, 22 источника литературы и 1 приложение.

Ключевые слова: герметичный кожух, управляющий двигатель-маховик, модернизация, жесткость, космический аппарат.

Объектом исследования являются герметичный кожух блока управляющего двигатель-маховика.

Целью магистерской диссертации является усовершенствование конструкции герметичного кожуха, путем исследования его качественных показателей в условиях космических полетов.

В процессе работы был проведен аналитический обзор. Изучены основные задачи космического машиностроения, пути повышения жесткости деталей, методы анализа и совершенствования конструкций изделий при помощи САД систем.

Магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе «MS Word». Для создания моделей использовался САПР «Solidworks 2020» и «КОМПАС 2019». Для проведения дальнейших исследований были применены инструменты Ansys 2019.

## Определения, обозначения, сокращения

КД – конструкторская документация.

КА – космический аппарат.

УДМ – управляющий двигатель-маховик.

САПР – система автоматизированного проектирования.

TIG - Tungsten Inert Gas (Вольфрамовый инертный газ).

ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

ГОСТ 14254.96.1. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.

ГОСТ 18425-73. Тара транспортная наполненная.

ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение.

ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере



## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 12 |
| 1 Исследовательская часть .....   | 13 |
| 1.1 Литературный обзор .....  | 13 |
| 1.1.1 Общая характеристика блока УДМ .....  | 13 |
| 1.1.2 Общая характеристика сварки TIG .....   | 14 |
| 1.1.3 Влияние формы контура на жесткость тонкостенных деталей ....  | 16 |
| 1.1.4 Пути повышения жесткости конструкций .....  | 20 |
| 1.1.5 Выбор САД системы .....   | 22 |
| 1.1.6 Выбор методики исследования и повышения жесткости тонкостенных детали в среде ANSYS.....                | 23 |
| 1.2 Расчет и аналитика .....  | 27 |
| 1.2.1 Технические требования .....  | 27 |
| 1.2.2 Анализ подбора материала.....   | 28 |
| 1.2.2.1 Физико-механические и эксплуатационные характеристики алюминиевого сплава 1370 .....                  | 30 |
| 1.2.2.2 Возможности длительной работы деталей из алюминиевого сплава 1370 в условиях глубокого вакуума.....   | 35 |
| 1.2.2.3 Коррозионная стойкость алюминиевого сплава 1370 .....   | 38 |
| 1.2.2.4 Термическая обработка и формообразование тонкостенных деталей из листов алюминиевого сплава 1370..... | 38 |
| 1.2.2.5 Свариваемость металлопродукции из алюминиевого сплава 1370.....                                       | 39 |
| 1.2.2.6 Термомеханическая обработка сплава 1370 .....   | 42 |
| 1.2.3 Модернизированная конструкция «кожуха» блока УДМ .....  | 51 |
| 1.2.4 Анализ напряженного состояния существующей конструкции «кожуха» блока УДМ .....                         | 53 |
| 1.2.5 Анализ напряженного состояния модернизированной конструкции «кожуха» блока УДМ .....                    | 55 |

|   |    |
|---|----|
| 2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...  | 60 |
| 2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований .....                             | 60 |
| 2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....  | 60 |
| 2.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....  | 61 |
| 2.1.3 Технология QuaD .....   | 63 |
| 2.1.4 SWOT- анализ.....   | 65 |
| 2.2 Планирование научно-исследовательских работ.....  | 67 |
| 2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....  | 67 |
| 2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....   | 68 |
| 2.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....  | 69 |
| 2.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....   | 72 |
| 2.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....   | 72 |
| 2.3.2 Основная заработная плата .....   | 73 |
| 2.3.3 Дополнительная заработная плата исполнительной системы .....  | 75 |
| 2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....   | 76 |
| 2.3.5 Амортизация.....  | 76 |
| 2.3.6 Накладные расходы .....   | 77 |
| 2.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....  | 78 |
| 2.3.8 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..... | 79 |
| 3 Социальная ответственность. ....  | 86 |
| 3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ....   | 86 |
| 3.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....  | 87 |
| 3.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .   | 88 |
| 3.2 Производственная безопасность .....   | 90 |
| 3.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования .....                                | 90 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 3.2.1.1  | Повышенный уровень шума .....   | 91  |
| 3.2.1.2  | Повышенный уровень вибрации .....   | 91  |
| 3.2.1.3  | Электромагнитное поле .....   | 92  |
| 3.2.1.4  | Недостаточная освещенность рабочей зоны.....  | 93  |
| 3.2.1.5  | Отклонение параметров микроклимата.....   | 97  |
| 3.2.1.6  | Вредные вещества.....   | 99  |
| 3.2.1.7  | Механические опасности .....  | 100 |
| 3.2.1.8  | Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности<br>заготовок .....                                     | 101 |
| 3.2.1.9  | Электроопасность .....  | 101 |
| 3.2.1.10 | Пожаробезопасность .....  | 102 |
| 3.2.2    | Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от<br>действия опасных и вредных факторов .....       | 103 |
| 3.3      | Экологическая безопасность.....   | 105 |
| 3.3.1    | Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .   | 105 |
| 3.3.2    | Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....  | 106 |
| 3.4      | Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....  | 106 |
| 3.4.1    | Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве<br>при внедрении объекта исследований .....     | 106 |
| 3.4.2    | Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка<br>порядка действия в случае возникновения ЧС ..... | 107 |
|          | Список использованных источников .....  | 111 |
|          | ПРИЛОЖЕНИЕ А .....  | 114 |

## **Введение**

Важную роль в развитии машиностроительных отраслей производства играет освоение современных методов проектирования и совершенствования технологических процессов изготовления деталей и сборки машин, готовность к системному анализу изменяющийся производственной и рыночной ситуации.

Цель работы состоит в усовершенствовании конструкции детали герметичный «кожух» с целью снижения вероятности отклонений его качественных показателей при испытаниях и условиях космических полетов (высокие температура и давление, низкие температуры космического пространства, вибрационные нагрузки на этапе выведения, радиационное воздействие, глубокий вакуум, микрочастицы и т.д.) и иметь низкую удельную массу.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ по подбору материала для снижения удельной массы изделия.
2. Выполнить модернизацию конструкции изделия для повышения его качественных показателей.

### **Практическая новизна** состоит в:

Определении напряженного деформированного состояния герметичного кожуха под действием внешней нагрузки и проектировании его формы по результатам исследований.

### **Практическая значимость:**

Для совершенствования конструкции тонкостенных деталей могут понадобиться данные исследования, которые позволили бы исключить выявленные недостатки конструкции и технологии сварки.

## **1 Исследовательская часть**

### **1.1 Литературный обзор**

#### **1.1.1 Общая характеристика блока УДМ**

В настоящее время в качестве электромеханических исполнительных органов систем ориентации и стабилизации различных отечественных и зарубежных космических аппаратов (КА) применяются такие элементы, как управляющие двигатели-маховики (УДМ) и силовые гироскопы.

Основная задача УДМ это - осуществление высокоточной угловой стабилизации и управление ориентацией КА в пространстве средствами формирования динамических и кинетических моментов по осям стабилизации.

Большинство конструкций управляющего двигатель-маховика оснащено гермокамерой, которая служит не только для уменьшения аэродинамической составляющей момента сопротивления вращению ротора, но также обеспечивает комфортные условия работы шарикоподшипниковых опор, что повышает их надежность и увеличивает срок службы. Анализ характеристик современных УДМ отечественного и зарубежного производства, а также требований, позволяет выделить следующие основные направления развития УДМ:

- снижение массогабаритных характеристик;
- увеличение срока активного существования;
- расширение области применения как вследствие усиленного развития класса малоразмерных КА, так и за счет более широкого использования на аппаратах тяжелого класса;
- повышение точности выходных характеристик;
- снижение возмущающих моментов;
- интеллектуализация функций.

Данные требования являются общими для всей бортовой аппаратуры КА и осуществляются путем применения более легких материалов и современных электрорадиоизделий с длительным сроком хранения. Кроме этого, снижение массы достигается переходом на моноблочную конструкцию, в которой платы электроники размещены на основании УДМ. Моноблочная конструкция позволяет уменьшить объем, занимаемый УДМ на КА, и дает возможность размещать его в различных местах контейнера без наличия силовых кабелей.

Кроме того, размещение плат электроники в силовом корпусе УДМ, позволяет обеспечить дополнительную защиту от излучений.

Герметичный кожух корпуса УДМ несет защитную функцию от внешних механических нагрузок в условиях космических полетов (высокие температура и давление, низкие температуры космического пространства, вибрационные нагрузки на этапе выведения, радиационное воздействие, глубокий вакуум, микрочастицы и т.д.) для бесперебойного функционирования систем ориентации и стабилизации космического аппарата.

Кожух герметично крепится к корпусу УДМ при помощи аргонодуговой сварки TIG.

### **1.1.2 Общая характеристика сварки TIG**

Сварка TIG широко используется в разных областях промышленности: авиастроении, машиностроении, производстве оборудования из нержавеющей стали, инструментальном производстве и т.д.

Сварку TIG называют универсальным процессом, так как с помощью нее можно сваривать любые металлы без ограничения, даже разнородные и с разной толщиной. Разберемся в понятии аргонодуговой сварки – что это такое и как действует этот метод. При подаче тока между тугоплавким электродом и рабочей поверхностью металла образуется дуга. Одновременно с этим через

сопло горелки подается аргон, который блокирует доступ воздуха. Таким образом, металлической взвеси в воздухе остается минимум, вероятности попадания шлака в сварочный шов практически нет. То есть аргон защищает дугу и электроды, а на выходе получается идеальный шов. Аргонодуговая сварка TIG (Tungsten Inert Gas) позволяет использовать два способа образования соединений: из расплавленных под действием дуги кромок металла или с помощью специальной присадочной проволоки.

Преимущества сварки TIG:

- Отличное качество шва – металл соединяется аккуратно и выглядит эстетически привлекательно.
- Возможность соединять различные металлы (например, титан и нержавеющую сталь), в том числе с изношенными поверхностями.
- Отсутствие шлаков в процессе сварки – шов сразу формируется ровным, не требующим дополнительной очистки.
- Минимизация металлических взвесей и разбрызгивания в воздухе. Данное обстоятельство позволяет проводить работы в любых помещениях без боязни повредить покрытие пола или стен.
- При сварке нагревается только маленькая площадь металлической основы, что делает возможным сохранение общей формы изделия.
- Достаточно высокая скорость проведения работ из-за большой тепловой мощности дуги.
- Надежность и высокое качество соединения гарантирует большой срок службы.

С точки зрения технологических приемов сварка выполняется несложно, поэтому использование аппаратов TIG становится общедоступным.

Среди недостатков сварки TIG можно назвать неидеальное качество работ при сквозняке или сильном ветре, так как часть газа может расплыться.

Сложностью может также стать необходимость начальной подготовки перед совершением сварочных работ.

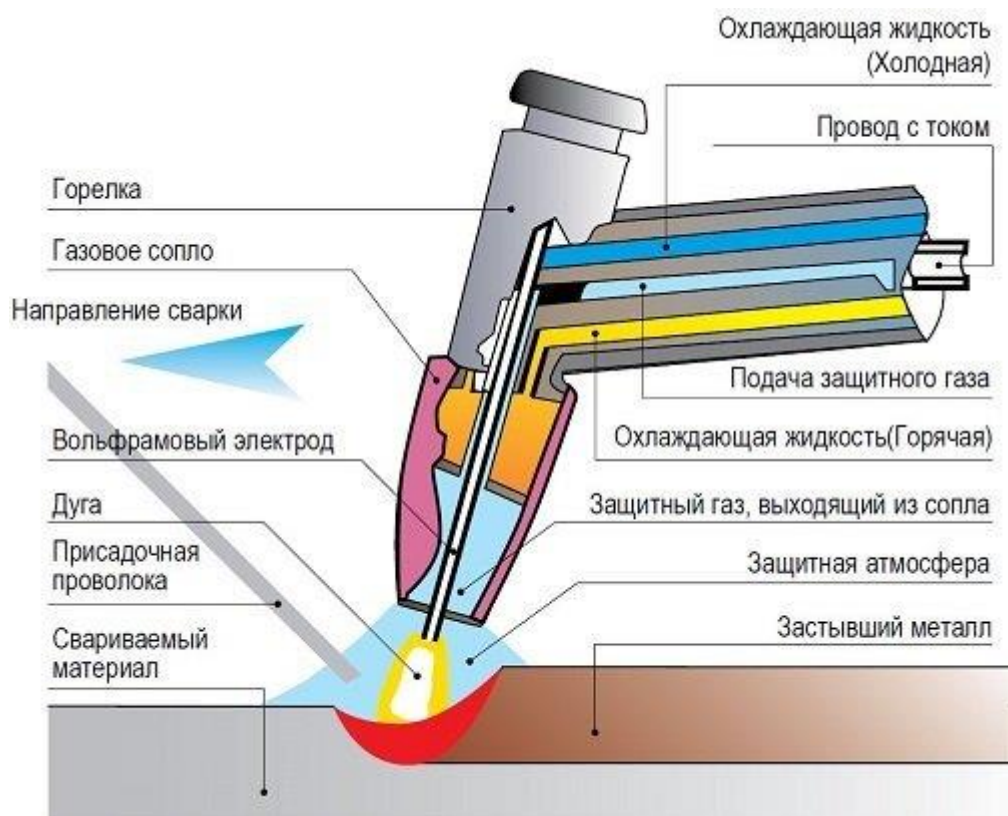


Рисунок 1.1 - Принцип работы аргонодуговой сварки.

### 1.1.3 Влияние формы контура на жесткость тонкостенных деталей

Для возможности оценки жесткости тонкостенных деталей рассмотрим возможные варианты их нагружения и деформацию, возникающую в результате каждого из вариантов. Все их можно свести к следующим схемам:

- 1) изгиб в двух плоскостях от действующей нагрузки, (рис.1.2, а, б);
- 2) изгиб от воздействия сосредоточенных сил, действующих в диагональной плоскости (рис.1.2, в).

Его можно представить (разложить) как геометрическую сумму изгибов относительно оси  $y$  и оси  $x$ , т.е.

$$M_0 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}; \quad (1.1)$$

- 3) кручение от воздействия сосредоточенных, направленных в разные стороны сил, приложенных в противоположных углах диагонали и создающих момент  $M_{кр}$  (рис.1.2, г), скручивающий дорожный знак.



Следовательно, для оценки жесткости знака необходимо рассмотреть частные случаи ее расчета при изгибе моментом  $M_x$  ; при изгибе моментом  $M_y$  ; при кручении моментом  $M_{кр}$  .

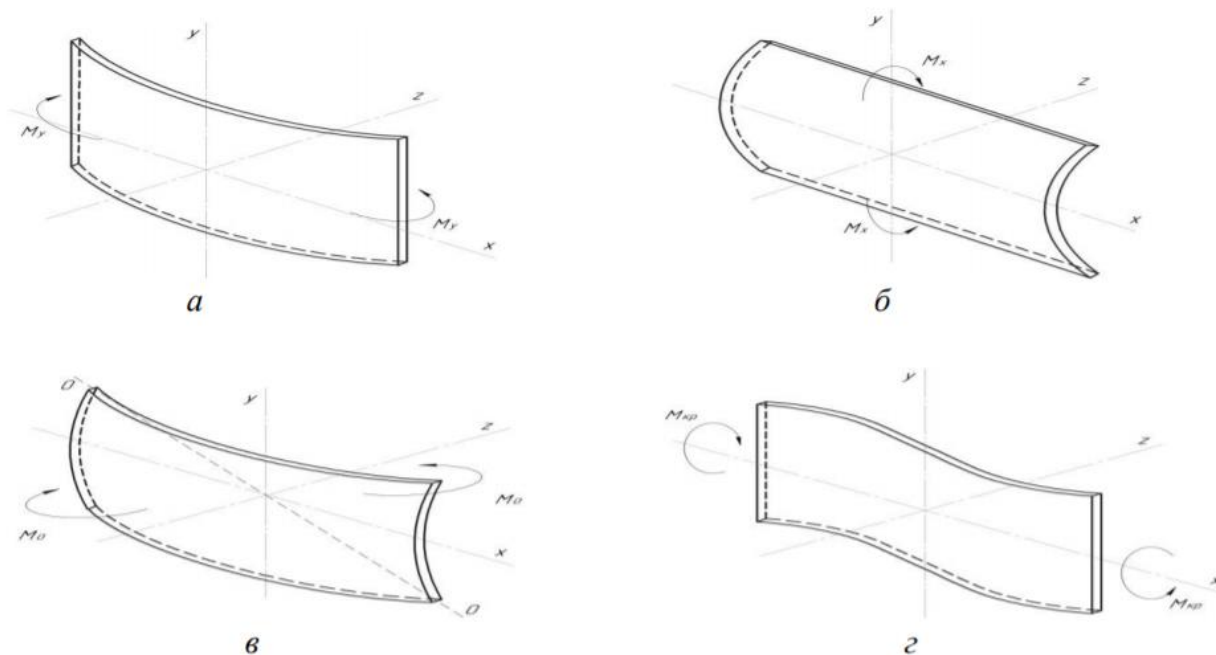


Рисунок 1.2 - Деформации детали прямоугольной формы от воздействия изгибающих и крутящего моментов: а – изгиб моментом  $M_y$  ; б - изгиб моментом  $M_x$  ; в - изгиб моментом  $M_0$  ; г - кручение моментом  $M_{кр}$ .

Жесткость любой конструкции, непосредственно зависит от материала, из которого она изготовлена и размеров поперечного сечения. В зависимости от вида нагрузки, жесткость различают: жесткость при изгибе  $E \cdot I_x$  ; жесткость при кручении  $G \cdot I_p$  .

где:  $E$  и  $G$  – модули упругости материала конструкции;

$I_x$  – осевой момент инерции площади поперечного сечения конструкции (индекс оси зависит от того, какие оси мы проведем в сечении);

$I_p$  – полярный момент инерции площади поперечного сечения.

Принимаем материал рассматриваемых тонкостенных деталей одинаковым, следовательно, исключим его из расчетных формул, а сравнения



всему периметру (рис.1.3, б); с двойной отбортовкой по всему периметру (рис.1.3, в). Оценку жесткости производили для характерных сечений I ... XII (рис.1.3, а, б, в), в которых жесткость меняется по величине. Вид сечений изображен на рис.1.3, г, д . Основной геометрической характеристикой изгибной жесткости является момент инерции сечения относительно главных осей сечения, например, оси z.

$$I_{z_i} = I_{z_1} + a_1^2 A_1 + I_{z_2} + a_2^2 A_2 + I_{z_3} + a_3^2 A_3 = 2(I_{z_1} + a_1^2 A_1) + I_{z_3}.$$

Кручение этих сечений соответствует схеме кручения тонкостенных брусьев открытого профиля. Для открытых профилей, выполненных из нескольких узких прямоугольников одинаковой толщины, величину геометрической характеристики жесткости при кручении можно определить по формуле:

$$I_p = \frac{b^3 \sum h_i}{3}, \quad (1.2)$$

где: b – толщина профиля,

$$b = 0,8 \text{ мм};$$

$h_i$  – высота каждого (i-того) прямоугольника при разворачивании профиля в одну линию.

Расчет ведем по средней линии (показана штрихпунктирной линией).

Затем было выполнено исследование влияния формы самой тонкостенной детали, т.е. расчет и сравнение жесткостей деталей четырех форм: прямоугольной, квадратной, треугольной и круглой. Следует отметить, что форма двух последних деталей имеет переменную высоту поперечного сечения, т.е. закон изменения сечения отвечает требованиям конструкций равного сопротивления.

Анализ сравнения изгибных жесткостей и жесткостей на кручение тонкостенных деталей прямоугольной формы с тремя вариантами выполнения контура детали показывает:

1) жесткость на кручение в 45 раз ниже жесткости на изгиб, соответственно, преобладающими в тонкостенных деталях являются деформации кручения;

2) наличие вырезов в углах контура снижает изгибную жесткость детали более, чем в 100 раз, а жесткость на кручение до 30%;

3) выполнение одинарной отбортовки по всему периметру устраняет ранее выявленные недостатки и приводит к выравниванию жесткости по всему контуру;

4) наличие двойной по всему периметру повышает изгибную жесткость контура детали в 8,2 раза по сравнению с одинарной отбортовкой по всему периметру и в 256 раз по сравнению с жесткостью детали с вырубленными углами;

5) наличие двойной отбортовки увеличивает жесткость на кручение по всему периметру от 2,0 до 2,2 раза по сравнению с одинарной отбортовкой, а по сравнению с жесткостью детали с вырубленными углами от 2,2 до 2,4 раза.

#### **1.1.4 Пути повышения жесткости конструкций**

Прочность материала косвенно влияет на жесткость конструкции. Деформации пропорциональны напряжениям при прочих равных условиях. Но напряжения принимаются, как правило, пропорциональными прочностиматериала; допустимые напряжения - это отношение предела прочности (или предела текучести) к коэффициенту прочности. Следовательно, чем выше прочность материала, тем больше допустимые напряжения и, при прочих равных, больше деформация системы. Напротив, чем ниже коэффициент безопасности и чем ближе действующие в системе напряжения к пределу прочности, тем больше деформация и ниже жесткость системы.

Один из простейших способов уменьшения деформаций заключается в уменьшении уровня напряжений. Однако этот путь нерационален, так как он приводит к увеличению массы конструкции. Следовательно, главным

средством увеличения жесткости является маневрирование геометрическими параметрами системы.

На жесткость существенно влияют размеры, а также форма сечений. При этом влияние линейных размеров детали невелико для случая растяжения-сжатия (жесткость обратно пропорциональна первой степени длины) и очень заметно при изгибе (жесткость обратно пропорциональна третьей степени длины).

К основным конструктивным способам повышения жесткости относятся следующие:

- всемерное устранение изгиба, замена его растяжением или сжатием;
- для деталей, работающих на изгиб, - целесообразная расстановка опор, исключение невыгодных по жесткости видов нагружения;
- рациональное, не сопровождающееся возрастанием массы, увеличение моментов инерции сечений;
- рациональное усиление ребрами, работающими предпочтительно на сжатие;
- усиление заделочных участков и участков перехода от одного сечения к другому;
- блокирование деформаций введением поперечных и диагональных связей;
- привлечение жесткости смежных деталей;
- для деталей коробчатого типа - применение скорлупчатых, сводчатых, сферических, яйцевидных и тому подобных форм;
- для деталей типа дисков - применение конических, чашечных, сферических форм;

### 1.1.5 Выбор САД системы

Все САПР, которые основанные на конечно-элементном методе, условно можно разделить на две группы:

1 группа - сложные и дорогостоящие программные комплексы, имеющие большие возможности. Такие программы зарекомендовали себя за счет высокой точности производимых исследований в разных отраслях.

2 группа - программы, которые разрабатываются для решения специализированных задач в необходимой исследуемой области, это обусловлено на разработку более простого и компактного инструмент для работы.

В машиностроении, аэрокосмической промышленности и энергетике широко применяются программы, такие как ANSYS, ABAQUS, COSMOS, которые являются тяжелыми зарубежными программными комплексами. В гражданском, промышленном и транспортном строительстве нашей страны популярны разрабатываемые в странах СНГ специализированные пакеты, такие как SCAD Office, «Лира», Robot и другие. Одним из самых распространенных программных комплексов на сегодня является ANSYS.

ANSYS — это программный комплекс, основанный на методе конечных элементов и предназначенный для автоматизированного инженерного анализа во многих отраслях техники (строительство, машиностроение, транспорт, авиация, космонавтика), а также в таких областях как механика жидкости и газа, механика, деформируемого твердого тела, теплопередача и электромагнетизм. Данная программа задает перечень расчетных средств, которые учитывают разнообразные конструктивные нелинейности, дают возможность решить общий случай контактной задачи для поверхностей, могут допустить образование конечных деформаций и углов поворота, а также позволяют выполнить анализ влияния электромагнитных полей и решить задачу гидроаэродинамики и многое

другое. ANSYS является средством, с помощью которого создается или прорабатывается CAD-модель конструкции, изделие или его составная часть.

### **1.1.6 Выбор методики исследования и повышения жесткости тонкостенных детали в среде ANSYS**

Процесс CAD-моделирования проходит определенные этапы, в которые входят:

- построение геометрической модели;
- выбор типа конечных элементов;
- построение конечно-элементной сетки;
- задание свойств материалов;
- выбор типа анализа;
- приложение нагрузок;
- задание граничных условий;
- расчет и анализ результатов.

ANSYS является средством, с помощью которого создается или прорабатывается CAD-модель конструкции, изделие или его составная часть.

Выделяются два способа геометрического моделирования при создании CAD-модели:

- 1) моделирование сверху-вниз;
- 2) моделирование снизу-вверх.

Моделирование сверху-вниз основано на проектировании объекта из готовых простых фигур, например, параллелепипеда, шара и тому подобные с применением обычных операций как сложение, вычитание и другие. Сам процесс моделирования базируется на геометрической иерархии объектов, которая идет по возрастанию.

После построения геометрической (твердотельной, непрерывной) модели объекта, нужно создать его конечно-элементную (дискретную) модель. Это означает, что на занимаемую объектом область пространства

наносится сетка из узлов и элементов, которая состоит из сравнительно простых форм и делит эту область на конечные элементы, которые в свою очередь соединяются между собой в некоторых точках (узлах). Элементы имеют общие узловые точки и в совокупности аппроксимируют форму области. Произвольную сетку в системе ANSYS можно строить из треугольных и четырехугольных плоских элементов, а также тетраэдров — четырехгранных объемных элементов. К тому же в программе заложен алгоритм рационального выбора размеров конечного элемента, который позволяет строить сетку элементов с учетом кривизны поверхности модели и высокого отображения ее реальной геометрии. Кроме этого, можно выбрать размер самой сетки, общий размер конечного элемента, количество делений граничной линии, коэффициенты растяжения или сжатия на границах и при удалении от границ. Построение такого рода сетки является одним из главных этапов в конечно-элементном анализе.

Для того, чтобы начать генерацию сетки в системе ANSYS, необходимо выполнить ряд определенных действий:

- указать типы элементов, которые будут применены в конечно-элементной модели;
- задать константы элементов, особенные для данного типа элемента, а также нужно задать свойства материалов, из которых будет состоять заданная модель.

После построения расчетной модели наступает стадия решения задачи, которая включает задание нагружения и его шаг, вид анализа и запуск на расчет модели. Нагружение включает в себя приложение внутренних и внешних усилий, а также граничные условия в виде ограничений на перемещения.

В программе выделены следующие категории нагрузок:

- сосредоточенные силы и моменты сил;
- поверхностные нагрузки;



- объемные силы;
- инерционные нагрузки;
- ограничения степеней свободы.

Большинство из нагрузок могут быть приложены в ключевых точках, по линиям и поверхностям (к твердотельной модели) или в узлах или элементах (к конечно-элементной модели). Расчет модели запускается после введения всех требуемых параметров, результаты которого записываются в базу данных.

Построим методику для полноценного анализа:

1. Задаем тип анализа (Static, modal и т.д.).
2. Задаем тип модели (деталь или сборка).
3. Задаем элементы в модели (твердые тела или поверхности).
4. Оптимизируем систему (например, если деталь симметричная, то можно просто отсечь половину и приложить в месте отсечения реакции и т.д.).

Выполняем предварительную обработку (Preprocessing):

1. Выбираем нужную систему анализа.
2. Выбираем необходимый материал, задаем его характеристики.
3. Прикрепляем геометрию.
4. Генерируем нужную сетку.
5. Прикладываем силы и закрепления.
6. Задаем необходимые результаты анализа.
7. Производим расчет и получаем данные.

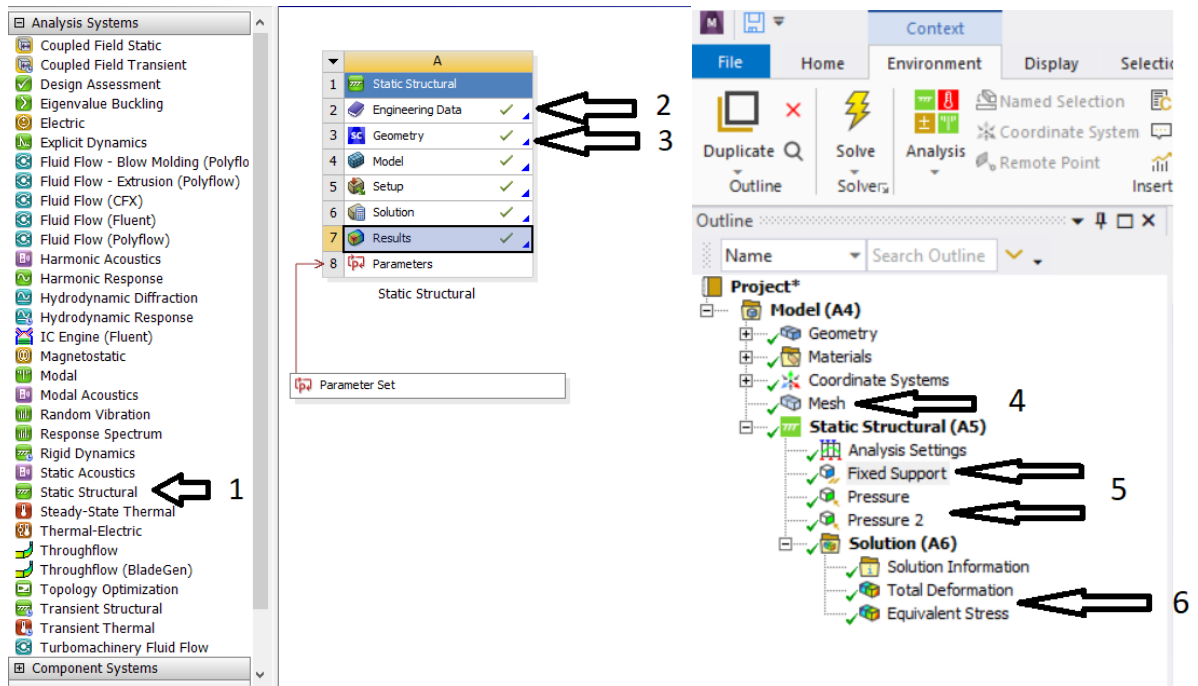


Рисунок 1.4 - Схематическое изображение предварительной обработки (Preprocessing).

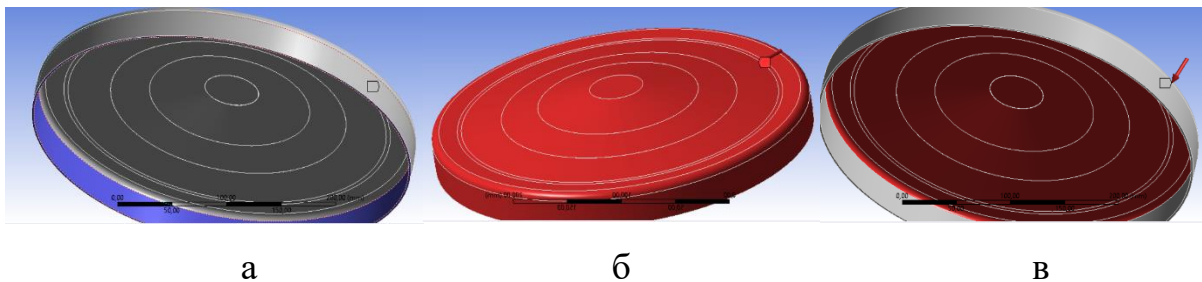


Рисунок 1.5 - Схематическое изображение закрепления и действующих сил на «кожух» блока УДМ: а – фиксированные поверхности; б – распределённая нагрузка на внешнюю поверхность – 0,157 МПа; в – распределенная нагрузка на внутреннюю поверхность –  $1,33 \cdot 10^{-5}$  МПа.

Проанализировав влияние формы контура на жесткость тонкостенных деталей, модернизируем конструкцию герметичного кожуха. Исключаем всемерные изгибы и применяем сферическую форму.



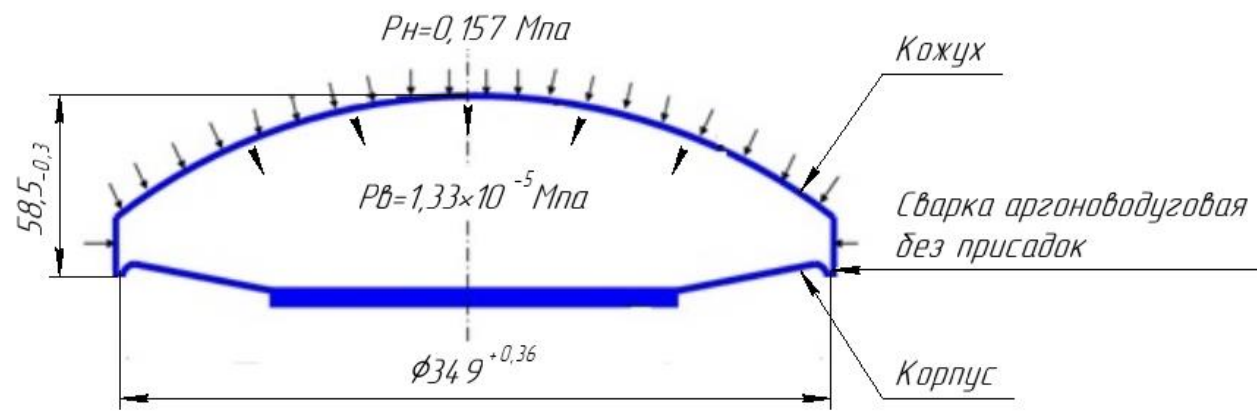


Рисунок 1.7 - Эскиз детали «Кожух» в сборе с корпусом УДМ.

Деталь при эксплуатации постоянно подвергается наружному давлению воздушной среды  $P_n = 0,157$  МПа, при внутреннем давлении  $P_v = 1,33 \cdot 10^{-5}$  МПа. При этих условиях деталь должна сохранять устойчивость, прочность и герметичность.

Температурный режим — от  $-50$  до  $+60$  °С.

Материал детали должен обеспечивать герметичность при сварке со сплавами АМг2, АМг6.

Материал детали должен быть коррозионно-стойким в условиях воздушной среды с влажностью 90 % при температуре 18-25°С в течение одного года в период изготовления.

Должна быть исследована релаксационная стойкость детали и сварного шва. Нагрузка на срез сварного шва 12,2 кгс на один сантиметр длины.

Ресурс работы детали — не менее 150000 часов.

### 1.2.2 Анализ подбора материала

В настоящее время в качестве материалов кожухов применяются листы из сплавов АМц, АМг2 и АМг6 и для них разработана технология изготовления. В изделии «кожух» изготавливается из сплава АМг6 толщиной 1,5 мм по ГОСТ 21631-76 с пределом текучести 155 МПа. Требуемое снижение

массы кожуха можно обеспечить только применением более прочного материала. При его выборе надо в первую очередь учитывать возможность получения герметичного сварного соединения кожуха с корпусом из материала такого же или из традиционно применяемого сплава АМгб, возможность разработки технологии вытяжки кожуха с требуемой геометрией и сохранение этой геометрии в течение продолжительного времени в условиях значительных механических нагрузок под действием атмосферного давления. Предварительный анализ показывает, что в настоящее время этим требованиям удовлетворяет сплав 1370 ТУ 1-804-398-2002 разработки Всероссийского института авиационных материалов, хорошо свариваемый и с пределом текучести не менее 360 МПа. При его использовании прочность и устойчивость под внешним давлением будут обеспечены при толщине листа 1,2 мм.

Сплав 1370, экономно легированный магнием, кремнием и медью, превосходит применяемые сплавы Д16АТ, АМгб и АМг2, по коррозионной стойкости, свариваемости и технологичности при изготовлении деталей методом холодной деформации.

В настоящее время аналогичные сплавы 6013 (США) и 6056 (Франция) находят все возрастающее применение на самолетах фирм "Боинг" и "Аэрбас индастри".

Сплав обладает высоким сопротивлением коррозии. Он разрабатывался для авиационной техники, эксплуатирующейся в районах морского тропического климата, а также базирующейся на кораблях. При его разработке ставилась задача повышения эксплуатационной надежности, увеличения ресурса и межремонтных сроков.

Сплав рассчитан на возможность контакта с морской водой и имеет высокую термическую стабильность свойств в процессе длительных солнечных нагревов.

Сплав 1370 высокотехнологичен не только при изготовлении деталей, включая детали двойной кривизны, но и в металлургическом переделе. Из него освоено производство методом рулонной прокатки неплакированных листов толщиной до 0,5 мм и прессованных профилей. Возможно изготовление плит, прессованных панелей и штамповок.

Применение нового перспективного алюминиевого коррозионно-стойкого, свариваемого и технологичного сплава 1370 в изделиях позволит снизить массогабаритные характеристики, увеличить ресурс и межремонтные сроки, повысить надежность эксплуатации. Однако применение этого материала потребует существенной доработки технологии изготовления кожуха.

### 1.2.2.1 Физико-механические и эксплуатационные характеристики алюминиевого сплава 1370

Задаваемый ТУ 1-804-434-2006 химический состав алюминиевого сплава марки 1370 приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – химический состав сплава марки 1370

| Марка сплава   | Массовая доля элементов, % |           |            |          |           |                   |          |
|----------------|----------------------------|-----------|------------|----------|-----------|-------------------|----------|
|                | Al                         | Mg        | Si         | Cu       | Zr        | Mn                | Cr       |
| 1370<br>(АД37) | Основа                     | 0,7-1,4   | 0,6-1,2    | 0,6-1,4  | 0,01-0,12 | 0,01-0,5          | 0,01-0,2 |
|                | Sc                         | Ti        | Ce         | Ni       | Zn        | Примеси, не более |          |
|                | 0,01-0,12                  | 0,01-0,10 | 0,005-0,05 | 0,05-0,2 | 0,2-0,8   | Fe<br>0,15        |          |

Технические характеристики:

Механические свойства листов из сплава марки 1370 (АД37) в закаленном и искусственно состаренном состоянии (Т1):

По ТУ 1-804-398-2002 (направление вырезки образцов — поперечное (П):

толщиной от 0,5 до 1,0 мм:

- Временное сопротивление ( $\sigma_b$ ) — не менее 370 МПа.
- Предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ ) — не менее 330 МПа.
- Относительное удлинение ( $\delta$ ) — не менее 8 %.

толщиной от 1,1 до 6,0 мм:

- Временное сопротивление ( $\sigma_b$ ) — не менее 400 МПа.
- Предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ ) — не менее 360 МПа.
- Относительное удлинение ( $\delta$ ) — не менее 8 %.

По паспорту на материал (средние значения):

- Малоцикловая усталость при осевой нагрузке МЦУ ( $N_{ср}$ ) (при  $K_t=2,6$ ;  $f=5$  Гц;  $\sigma_{max}=157$  МПа, направление вырезки образцов — долевое (Д)) — 150 кцикл.

- Предел длительной прочности за 100 ч испытаний при температуре 150 °С (направление вырезки образцов — Д) — 210 МПа.

- Критический условный коэффициент интенсивности напряжений в условиях плоского напряженного состояния (при  $B=400$  мм, направление вырезки образцов — продольное с направлением трещины поперечным (ДП), состояние образцов — закаленное и искусственно состаренное (Т11)) — 101 МПа $\sqrt{м}$ .

- Скорость развития трещины усталости ( $dl/dN$ ) (при  $\Delta K=31$  МПа $\sqrt{м}$ , направление вырезки образцов — ДП, состояние образцов — закаленное и искусственно состаренное (Т11)) — 4,2 мм/кцикл.

Временное сопротивление разрыву  $\sigma_b$ , предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , относительное удлинение  $\delta$  и относительное сужение  $\psi$  определялись испытанием на растяжение ГОСТ 1497-84 пропорциональных плоских образцов листа 1,2 мм (рис.1.8) и цилиндрических образцов плиты 30 мм. Твердость измерялась по методу Бринелля ГОСТ 9012-59.

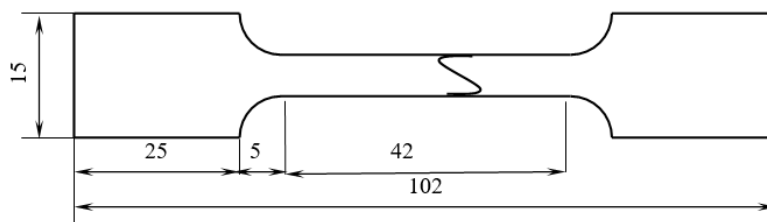


Рисунок – 1.8 – Пропорциональный плоский образец для испытаний на растяжение.

В таблицах 1.2 и 1.3 приведены результаты механических испытаний, а на рис.1.9 — кривые пластического течения образцов листа и плиты сплава 1370 после различных режимов термической обработки. На рис.1.10 приведены поверхности разрушения образцов плиты 30 мм сплава 1370 после отжига (а) и после закалки и старения при 180 °С (б).

Таблица 1.2 — Механические свойства листов 1,2 мм сплава 1370

| №, п/п | Режим термической обработки    | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\delta$ , % | $\psi$ , % | НВ  |
|--------|--------------------------------|------------------|----------------------|--------------|------------|-----|
| 1      | Отжиг 350 °С 1 ч               | 185              | 170                  | 11,4         | 27,4       | 55  |
| 2      | Закалка в воде от 530 °С ч     | 244              | 244                  | 25,7         | 31,2       | 83  |
| 3      | Закалка + старение 150 °С 11 ч | 384              | 350                  | 11           | 31         | 114 |
| 4      | Закалка + старение 180 °С 6 ч  | 384              | 345                  | 3,05         | 23,8       | 115 |
| 5      | Закалка + старение 200 °С 2 ч  | 371              | 327                  | 13,8         | 20         | 107 |
| 6      | Закалка + старение 220 °С 2 ч  | 365              | 316                  | 7,1          | 27,4       | 106 |
| 7      | Закалка + старение 250 °С 1 ч  | 320              | 285                  | 6,3          | 22,8       | 102 |
| 8      | Закалка + старение 300 °С 2 ч  | 216              | 184                  | 9,3          | 28,5       | 60  |



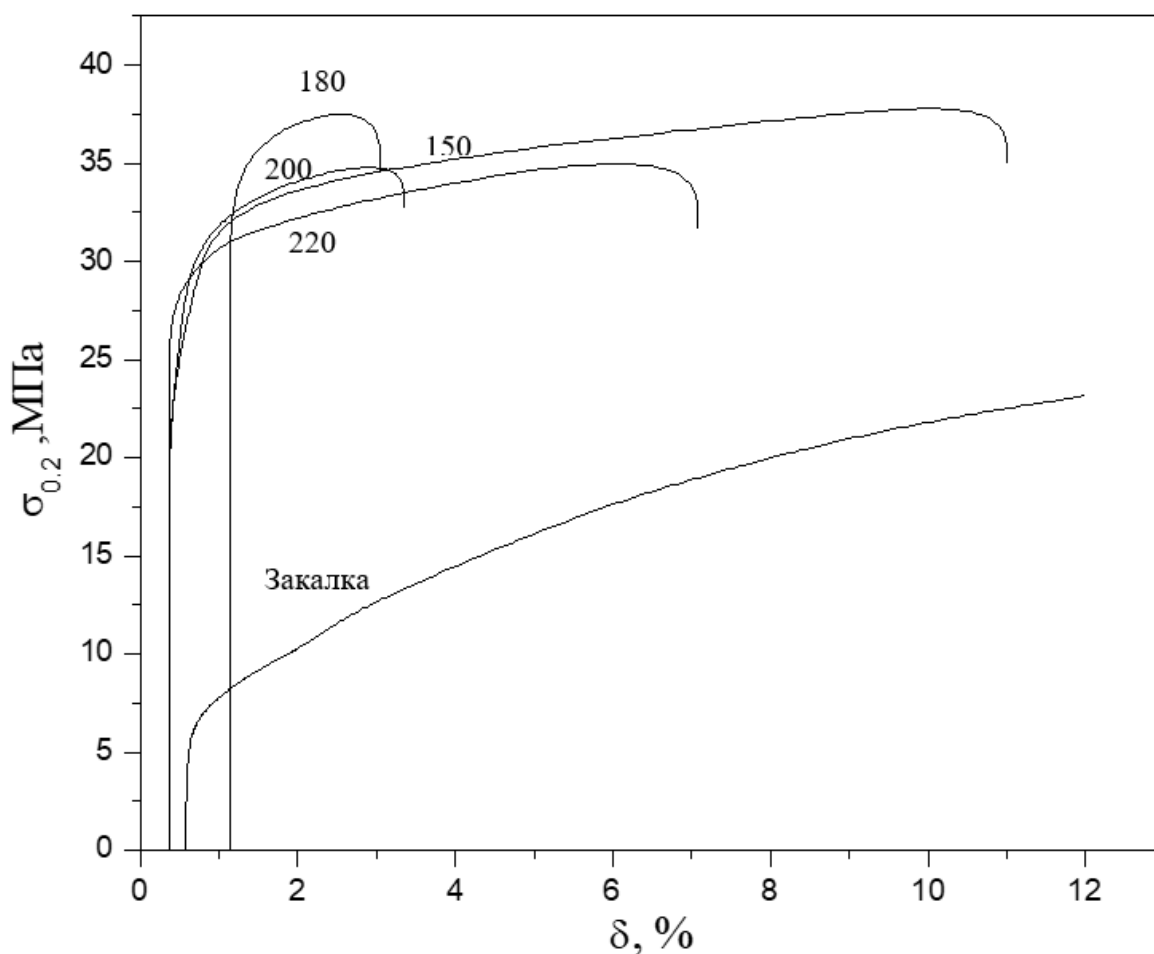


Рисунок – 1.9 — Кривые течения образцов листа 1,2 мм сплава 1370 в различных структурных состояниях. Цифры у кривых — температура старения, указана в °С.

Представлены кривые течения образцов подвергнутых различным термообработкам. Наибольшей пластичностью обладают образцы термообработанные при температурах 150 °С - 220 °С при сохранении высоких прочностных характеристик. Однако, использование режима с температурой 150 °С в производстве нецелесообразно ввиду высокой энерго- и трудоемкости.

Таблица 1.3 — Механические свойства плит 30 мм сплава 1370.

| №, п/п | Режим термической обработки    | $\sigma_{в}$ , МПа | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\delta$ , % | $\psi$ , % |
|--------|--------------------------------|--------------------|----------------------|--------------|------------|
| 1      | Отжиг 350 °С 1 ч               | 169                | 110                  | 16,5         | 43,75      |
| 2      | Закалка в воде от 530 °С ч     | 283                | 149                  | 25           | 33,92      |
| 3      | Закалка + старение 150 °С 11 ч | 418                | 383                  | 14           | 17         |
| 4      | Закалка + старение 180 °С 6 ч  | 418                | 378                  | 8            | 10         |
| 5      | Закалка + старение 200 °С 2 ч  | 390                | 378                  | 8,25         | 11,        |
| 6      | Закалка + старение 220 °С 2 ч  | 358                | 338                  | 6,34         | 14,41      |
| 7      | Закалка + старение 250 °С 1 ч  | 279                | 249                  | 13           | 23         |
| 8      | Закалка + старение 300 °С 2 ч  | 244                | 219                  | 13           | 37         |



а

б

Рисунок – 1.10 — Поверхности разрушения образцов плиты 30 мм сплава 1370 после отжига (а) и после закалки и старения при 180 °С (б).

Проведенные исследования показывают, что оптимальным для обеспечения требуемых в разработках служебных характеристик сплава 1370 является режим термической обработки: закалка от температуры 530-550 °С в воде, подогретой до температуры 60-80 °С, с последующим отпуском при температуре 175-185 °С в течение 4-6 ч.

### 1.2.2.2 Возможности длительной работы деталей из алюминиевого сплава 1370 в условиях глубокого вакуума

В вакууме при температуре 20°C и ниже происходит выделение газа, растворенного в кристаллической решетке материала — водорода, а также газов, десорбирующихся с поверхности. Источники наводороживания могут быть различными. В прокате металла это — электрохимическое наводороживание при горячей обработке. Газы на поверхности металла адсорбируются либо из атмосферы, либо — N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, либо образуются в результате химического взаимодействия адсорбированного кислорода с водородом или углеродом — H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub>.

Газовыделение материала определяют по “методу потока” с диафрагмой постоянной проводимости. Скорости газовыделения  $Q_i$  и парциальные давления  $p_i$  рассчитывают по экспериментальным масс-спектрам, которые экспериментально определяют при длительном вакуумировании в высоком вакууме при постоянной температуре. Расчет выполняют с помощью ЭВМ по формуле

$$Q_i = [p_{ik} - (p_{if} + p_{in})] / Fw_i, \quad (1.3)$$

где  $p_{ik}$ ,  $p_{if}$ ,  $p_{in}$  — парциальные давления  $i$ -газа в камере с образцом, в камере без образца (фон), в насосе, Па;

$w_i$  — сопротивление диафрагмы для  $i$ -газа, с/м<sup>3</sup>;

$F$  — площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>.

Суммарная скорость газовыделения:

$$Q_S = \sum Q_i.$$

Для предварительной оценки газовыделения используют значения скоростей газовыделения  $Q_{экв}$  в азотном эквиваленте, которые рассчитывают по манометрическому давлению в испытательной камере и молекулярной массе азота:

$$Q_{\text{экв}} = [p_k - (p_f + p_n)] / FwN, \quad (1.4)$$

где  $p$  — давление, измеряемое манометром, Па;

$wN$  — сопротивление диафрагмы для азота, с/м<sup>3</sup>.

Для металлов скорость газовой выделения в 1,5 – 2 раза больше скорости в азотном эквиваленте.

Алюминий и его сплавы по скорости газовой выделения (таблица 1.4 и 1.5) и коррозионной стойкости во влажной атмосфере близки к коррозионностойким сталям, уступая им по жесткости, но превосходя в теплопроводности. Окисление деталей из этих сплавов также уменьшает скорости газовой выделения. По сравнению с техническим алюминием скорость газовой выделения несколько больше у силуминов (АЛ2) и сплавов типа АМг.

Таблица 1.4 – Скорости выделения различных газов в вакууме при 20 °С из алюминия и его сплавов.

| Материал                 | Обработка поверхности                         | Скорость газовой выделения, 10 <sup>7</sup> м·Па/с |                  |                   |       |                    |                     |                  |                   |       |                    |
|--------------------------|---|--|------------------|-------------------|-------|--------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------|--------------------|
|                          |   | после выдержки 5 ч                                 |                  |                   |       |                    | после выдержки 30 ч |                  |                   |       |                    |
|                          |   | H <sub>2</sub>                                     | H <sub>2</sub> O | CO+N <sub>2</sub> | Сумма | Эквивалент азотный | H <sub>2</sub>      | H <sub>2</sub> O | CO+N <sub>2</sub> | Сумма | Эквивалент азотный |
| АД1<br>(листовой прокат) | Травление (NaOH)                              | 200  | 250              | 120               | 570   | 300                | 11                  | 7,0              | 2,0               | 2,0   | 12                 |
|                          | Травление + пассивирование в HNO <sub>3</sub> | 9  | 11               | 10                | 30    | 15                 | 2,2                 | 1,4              | 0,8               | 4,4   | 2,6                |
|                          | Окисление на воздухе в течение 1ч при 400°С   | 0,6  | 0,7              | —                 | 1,4   | 0,7                | 0,3                 | 0,16             | —                 | 0,46  | 0,3                |
|                          | То же после 2,5 суток во влажной атмосфере    | 7,1  | 5,9              | 9,3               | 23    | 60                 | 1,1                 | 0,22             | 0,87              | 2,2   | 0,9                |

Продолжение таблицы 1.4

|                           |                            |    |    |     |     |    |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----------------------------|----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| АЛ2 (литье под давлением) | Травление и пассивирование | 43 | 33 | 52  | 128 | 80 | 18  | 10  | 4,0 | 32  | 18  |
| АЛ2 (вакуумный переплав)  |                            | 38 | 33 | 6,4 | 77  | 45 | 12  | 8   | 0,2 | 20  | 10  |
| САП (листовой прокат)     |                            | 14 | 14 | —   | 28  | 19 | 2,2 | 2,2 | —   | 4,4 | 3,2 |

Таблица 1.5 – Скорости газовыделения ( $Q \cdot 107$ , м·Па/с) для 10-часового вакуумирования при 20 °С окисленных алюминия и его сплавов.

| Сплав | Режим окисления |      |  | Скорость газовыделения, 107 м·Па/с |       |
|-------|-----------------|------|--|------------------------------------|-------|
|       | t, °С           | T, ч | Среда  | H <sub>2</sub>                     | Сумма |
| АД1   | —               | —    | Без окисления                                  | 4,5                                | 8,5   |
|       | 200             | 1    | Воздух, испытание немедленное                  | 0,6                                | 2,4   |
|       | 300             |      |  | 0,15                               | 0,5   |
|       | 400             |      |  | 0,09                               | 0,39  |
|       | 200             | 2    | Окисление в испытательной камере, вакуум 10 Па | 0,3                                | —     |
| АМц   | —               | —    | —  | 1,0                                | —     |
| АМг   | —               | —    | —  | 1,3                                | —     |
| АМг3  | —               | —    | —  | 1,9                                | —     |
| АМг6  | —               | —    | —  | 3,0                                | —     |

Из всех легирующих элементов сплава 1370 наибольшей упругостью паров обладает цинк, содержание которого составляет 0,2 – 0,8 %.

### **1.2.2.3 Коррозионная стойкость алюминиевого сплава 1370**

Сплав 1370 обладает высоким сопротивлением коррозии. Он разрабатывался для авиационной техники, эксплуатирующейся в районах морского тропического климата, а также базирующейся на кораблях. При его разработке также ставилась задача повышения эксплуатационной надежности, увеличения ресурса и межремонтных сроков. Сплав рассчитан на возможность контакта с морской водой и имеет высокую термическую стабильность свойств в процессе длительных солнечных нагревов.

### **1.2.2.4 Термическая обработка и формообразование тонкостенных деталей из листов алюминиевого сплава 1370**

С целью разработки технологии вытяжки кожухов из сплава 1370 исследована способность сплава к формообразованию в различных структурных состояниях.

Сплав поставляется в закаленном и естественно состаренном состоянии, его предел текучести превышает 360 МПа. Эксперименты по вытяжке такого материала показали неудовлетворительные результаты. Поэтому было принято решение перед вытяжкой заготовки закалить. Поскольку в закаленном сплаве происходит естественное старение, временной промежуток между операциями закалки и вытяжки не должен превышать нескольких часов.

Если для кожухов из листов АМц, АМг2 и АМг6 требуемая геометрия обеспечивается отжигом на оснастке для вытяжки при 300°С, то отжиг данного материала при этой температуре приведет к его недопустимому разупрочнению. Поэтому следует совмещать искусственное старение при температуре 180 °С с отжигом на оснастке. Поскольку при этой температуре напряжения не снимаются полностью, для обеспечения геометрических требований КД оснастка для вытяжки была доработана таким образом, чтобы упреждать упругую деформацию кожуха после снятия его с оснастки.

### 1.2.2.5 Свариваемость металлопродукции из алюминиевого сплава 1370

Свариваемость сплава 1370 определяли по крестовой пробе и на натуральных образцах ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом (TIG).

Размеры заготовок для крестовой пробы – 300x100x1,2 (рис.1.11). Схема сварки крестовой пробы и последовательность выполнения сварных швов приведены на рис.1.11. Сварка выполнялась по нахлестке без присадки на установке BRIMA TIG 160 GW Исв- 54А.

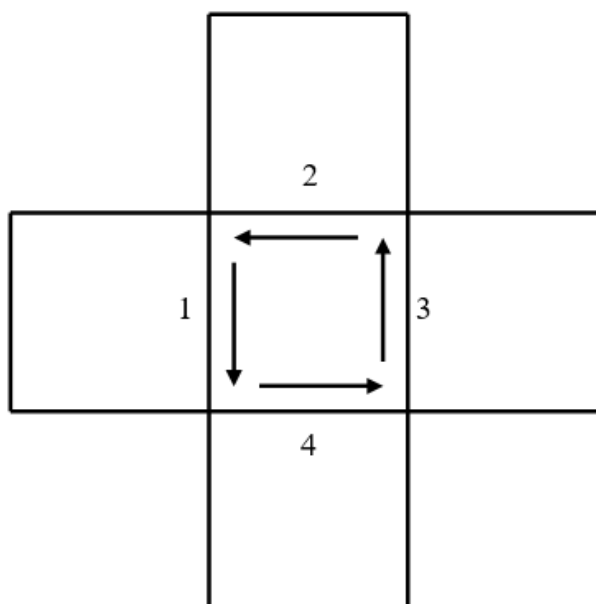


Рисунок – 1.11 – Схема сварки крестовой пробы.

В крестовой пробе создается достаточно большая жесткость конструкции; чувствительность к заданной жесткости характеризуется качественно степенью поражения трещинами сварного соединения в процессе затвердевания. Эта проба весьма удобна и широко опробована на алюминиевых сплавах. При крестовой пробе вследствие ее конструктивных особенностей четко выявляется склонность соединения к образованию трещин на участке частичного расплавления.

Склонность сплава к трещинообразованию определяется по формуле:

$$a = l/L * 100\%, \quad (1.5)$$

где  $a$  – склонность сплава к образованию трещин, %;

$l$  – общая длина швов, пораженных трещинами;

$L$  – общая длина сварных швов в образце.

Для сравнения в эксперименте применяли также сплав АМг6.

Результаты испытаний по крестовой пробе различных сочетаний сплавов приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Испытания крестовой пробы

| № пробы | Свариваемые материалы | $a$ , %             | Примечание  |
|---------|-----------------------|---------------------|---|
| 1       | АМг6 + АМг6           | Трещины отсутствуют | —   |
| 2       | АМг6 + 1370           | 27                  | Продольные горячие трещины по околошовной зоне 1370 |
| 3       | 1370 + 1370           | 28,5                | Продольные горячие трещины по оси шва               |

На рисунке 1.12 и 1.13 представлен внешний вид трещины в пробах 2 и 3.



Рисунок – 1.12 - Внешний вид трещины в пробе 2



Рисунок – 1.13 - Внешний вид трещины в пробе 3



Кожух и крышка выполнены из сплава 1370, корпус – из сплава АМгб. Сварка обоих сварных швов производилась по отбортовке без присадки. С целью увеличения высоты сечения сварного шва и уменьшения дефектов по герметичности сборку деталей выполняли с превышением кромки, рис. 1.15.



Рисунок – 1.14 – Внешний вид блока УДМ

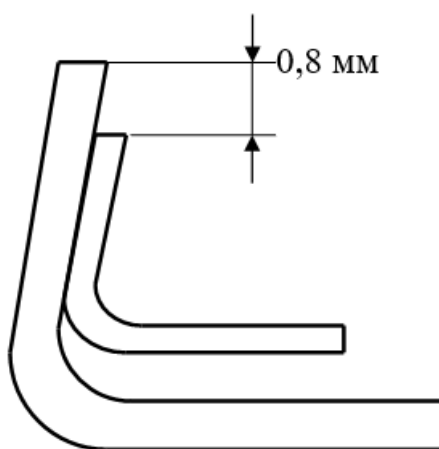


Рисунок – 1.15 – Схематическое изображение сборки деталей

В качестве источника питания использовали макетную установку сварки ТIG. Короткие, большой амплитуды с крутыми фронтами импульсы сварочного тока установки оказывают значительное динамическое воздействие на сварочную ванну, способствуют более активному ее

перемешиванию, увеличивают высоту шва, раздробляют и вытесняют окисную пленку на поверхность ванны.

Несмотря на пониженную у сплава 1370 относительно сплава АМг6 стойкость против образования горячих трещин, последние в сварных швах отсутствуют в том числе благодаря способности отбортованных свариваемых кромок деформироваться в процессе затвердевания шва.

Герметичность проверяли гелиевым течеискателем ПТИ – 14, прочность – внешним давлением 1,7кгс/см<sup>2</sup>. Проверка показала, что герметичность и прочность сварных швов соответствуют.

#### **1.2.2.6 Термомеханическая обработка сплава 1370**

По технологии изготовления герметичного кожуха, листовая заготовка закаливается на твердый раствор. После вытяжки проводится старение на высокую прочность, для получения требуемой кривизны сферической поверхности кожух остается надетым на пуансон.

Для обеспечения требуемой точности и снижения остаточных напряжений в детали, разработана новая технология:

Снижена температура нагрева заготовки под закалку до минимума (505 °С), которая контролируется термопарой, помещенной в технологическое отверстие в заготовке. При закалке с меньшей температуры требуемая после старения твердость 110...120 НВ не достигается.

Заготовка закаливается не в воде, а в масле, для уменьшения термоудара.

Заготовка дисковой формы вращается вокруг оси симметрии со скоростью, при которой напряжения в материале под действием центробежных сил достигают предела текучести и происходят микропластические деформации, для снижения и симметрии остаточных напряжений.

Рассмотрим напряженное состояние вращающегося кольца. В случае только упругих деформаций справедливо уравнение равновесия изотропного твердого тела [1]

$$E \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)} \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{u} - \frac{E}{2(1+\mu)} \operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{u} + \mathbf{f} = 0, \quad (1.6)$$

где  $\mathbf{u}$  – векторное поле смещений при деформации;

$\mathbf{f}$  – объемные силы (в рассматриваемом случае – центробежная сила, действующая на единицу объема);

$E$  и  $\mu$  – модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

Будем считать кольцо достаточно плоским, чтобы сдвиговые осевые компоненты  $u_{rz}$  деформаций были незначительными по сравнению с тангенциальными  $u_{\phi\phi}$  и радиальными  $u_{rr}$ , тогда в цилиндрических координатах для вращающегося с угловой скоростью  $\omega$ , кольца уравнение (1.6) запишется:

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{1}{r} \frac{d(r u_r)}{dr} \right) + \frac{1-\mu^2}{E} \rho \omega^2 r = 0, \quad (1.7)$$

где  $\rho$  — плотность материала кольца. Решение этого уравнения имеет вид

$$u_r = ar + \frac{b}{r} - \frac{1-\mu^2}{8E} \rho \omega^2 r^3, \quad (1.8)$$

где  $a$  и  $b$  — постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий.

Радиальная и тангенциальная составляющие относительной деформации равны

$$\begin{aligned} u_{rr} &= \frac{d u_r}{d r} = a - \frac{b}{r^2} - \frac{3}{8} \frac{1-\mu^2}{E} \rho \omega^2 r^2, \\ u_{\phi\phi} &= \frac{u_r}{r} = a + \frac{b}{r^2} - \frac{1-\mu^2}{8E} \rho \omega^2 r^2. \end{aligned} \quad (1.9)$$

В качестве граничных условий примем значения нормальных составляющих тензора напряжений на внутренней и наружной поверхностях детали. По закону Гука

$$\begin{aligned}\frac{\sigma_{rr}}{\lambda} &= \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)u_{rr} + u_{\phi\phi} + u_{zz} \quad , \\ \frac{\sigma_{\phi\phi}}{\lambda} &= \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)u_{\phi\phi} + u_{rr} + u_{zz} \quad , \\ \frac{\sigma_{zz}}{\lambda} &= \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)u_{zz} + u_{rr} + u_{\phi\phi} \quad ,\end{aligned}\tag{1.10}$$

где коэффициент Ламэ:

$$\lambda = \frac{E\mu}{(1-2\mu)(1+\mu)} \quad .\tag{1.11}$$

Осевые деформации найдем из условия отсутствия осевых напряжений в плоском кольце

$$-\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)u_{zz} = u_{rr} + u_{\phi\phi} \quad .\tag{1.12}$$

Подставляя (1.9) и (1.10) в (1.11), получаем

$$\begin{aligned}\sigma_{rr} &= \frac{E}{1-\mu}a - \frac{E}{1+\mu}\frac{b}{r^2} - \frac{3+\mu}{8}\rho\omega^2r^2 \quad , \\ \sigma_{\phi\phi} &= \frac{E}{1-\mu}a + \frac{E}{1+\mu}\frac{b}{r^2} - \frac{1+3\mu}{8}\rho\omega^2r^2 \quad ,\end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}\sigma_{rr} &= a' - \frac{b'}{r^2} - \frac{3+\mu}{8}\rho\omega^2r^2 \quad , \\ \sigma_{\phi\phi} &= a' + \frac{b'}{r^2} - \frac{1+3\mu}{8}\rho\omega^2r^2 \quad .\end{aligned}\tag{1.13}$$

Постоянные  $a'$  и  $b'$  определяются решением системы уравнений

$$\begin{cases} \sigma_{rr \min} = a' - \frac{b'}{r_{\min}^2} - \frac{3+\mu}{8} \rho \omega^2 r_{\max}^2 \\ \sigma_{rr \max} = a' - \frac{b'}{r_{\max}^2} - \frac{3+\mu}{8} \rho \omega^2 r_{\max}^2 \end{cases},$$

$$a' = \frac{\sigma_{rr \max} r_{\max}^2 - \sigma_{rr \min} r_{\min}^2}{r_{\max}^2 - r_{\min}^2} + \frac{3+\mu}{8} \rho \omega^2 (r_{\max}^2 + r_{\min}^2),$$

$$b' = \frac{\sigma_{rr \max} - \sigma_{rr \min}}{r_{\max}^2 - r_{\min}^2} r_{\max}^2 r_{\min}^2 + \frac{3+\mu}{8} \rho \omega^2 r_{\max}^2 r_{\min}^2, \quad (1.14)$$

где  $\sigma_{rr \min}$  и  $\sigma_{rr \max}$  — радиальные компоненты тензора напряжений на внутренней  $r_{\min}$  и наружной  $r_{\max}$  поверхностях рассматриваемого кольца соответственно.

Окончательно напряжения в рассматриваемом кольце

$$\sigma_{rr} = \frac{\sigma_{rr \max} r_{\max}^2 \left(1 - \frac{r_{\min}^2}{r^2}\right) + \sigma_{rr \min} r_{\min}^2 \left(\frac{r_{\max}^2}{r^2} - 1\right)}{r_{\max}^2 - r_{\min}^2} + \frac{3+\mu}{8} \left(1 - \frac{r_{\min}^2}{r^2}\right) \left(\frac{r_{\max}^2}{r^2} - 1\right) \rho \omega^2 r^2$$

$$\sigma_{\phi\phi} = \frac{\sigma_{rr \max} r_{\max}^2 \left(1 + \frac{r_{\min}^2}{r^2}\right) - \sigma_{rr \min} r_{\min}^2 \left(\frac{r_{\max}^2}{r^2} + 1\right)}{r_{\max}^2 - r_{\min}^2} +$$

$$+ \left[ \frac{3+\mu}{8} \left(1 + \frac{r_{\min}^2}{r^2}\right) \left(\frac{r_{\max}^2}{r^2} + 1\right) - \frac{1+\mu}{2} \right] \rho \omega^2 r^2. \quad (1.15)$$

Радиальные смещения можно определить, выразив  $a$  и  $b$  через  $a'$  и  $b'$  из (1.7) и подставив их в (1.8). Есть и более короткий способ – из (1.9) и по закону Гука

$$u_r = r u_{\phi\phi} = r \frac{\sigma_{\phi\phi} - \mu \sigma_{rr}}{E}. \quad (1.16)$$

В рассматриваемом случае радиальные напряжения на граничных цилиндрических поверхностях кольца отсутствуют. Условия равенства

граничных усилий и отсутствия нормальных напряжений на свободных поверхностях требуют

$$\begin{aligned}\sigma_{rr \min} &= 0 \\ \sigma_{rr \max} &= 0\end{aligned}\quad (1.17)$$

При этом уравнения (1.15) значительно упрощаются:

$$\sigma_{rr} = \frac{3+\mu}{8} \left(1 - \frac{r_{\min}^2}{r^2}\right) \left(\frac{r_{\max}^2}{r^2} - 1\right) \rho \omega^2 r^2, \quad (1.18)$$

$$\sigma_{\phi\phi} = \left[ \frac{3+\mu}{8} \left(1 + \frac{r_{\min}^2}{r^2}\right) \left(\frac{r_{\max}^2}{r^2} + 1\right) - \frac{1+\mu}{2} \right] \rho \omega^2 r^2. \quad (1.19)$$

Подставляя (1.18) и (1.19) в (1.16), получаем

$$u_r = \frac{\rho \omega^2 r^3}{E} \left\{ \frac{3+\mu}{8} \left[ \left(1 + \frac{r_{\min}^2}{r^2}\right) \left(\frac{r_{\max}^2}{r^2} + 1\right) - \mu \left(1 - \frac{r_{\min}^2}{r^2}\right) \left(\frac{r_{\max}^2}{r^2} - 1\right) \right] - \frac{1+\mu}{2} \right\} \quad (1.20)$$

На рис. 1.16 показаны радиальные зависимости (1.18) – (1.20) для алюминиевого кольца размерами  $r_{\min} = 17,5$  мм и  $r_{\max} = 159$  мм, вращающегося со скоростью 11000 об/мин ( $\mu = 0,3$ ,  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>).

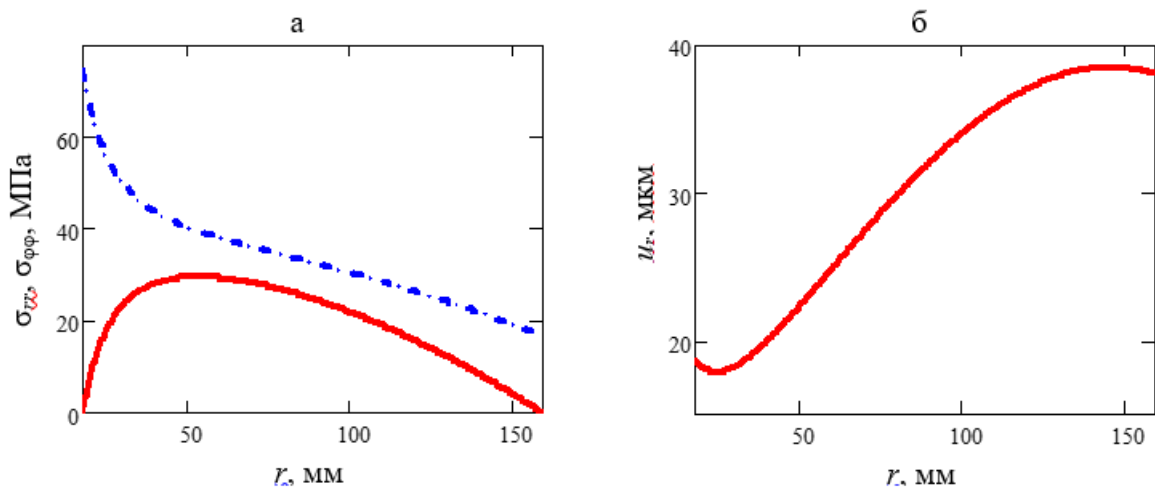


Рисунок – 1.16 – Напряженно-деформированное состояние вращающегося алюминиевого кольца при отсутствии пластического течения:

- а) радиальные (сплошная линия) и тангенциальные (штрих-пунктир) напряжения; б) радиальные смещения.

Видно, что тангенциальные напряжения – положительны (растягивающие), максимальны в центре кольца и монотонно убывают при удалении от него. Радиальные напряжения на внутренней и наружной цилиндрических поверхностях кольца принимают нулевые значения, внутри – положительны и имеют максимум ближе к центру. Радиальные смещения в целом увеличиваются при удалении от центра, однако есть минимум и максимум.

Рассмотрим напряженное состояние кольца, претерпевающего при вращении пластическую деформацию под действием центробежных сил.

Воспользуемся более общим уравнением равновесия:

$$r \frac{d\sigma_{rr}}{dr} + \sigma_{rr} - \sigma_{\phi\phi} + \rho\omega^2 r^2 = 0 \quad (1.21)$$

Рассмотрим случай, когда скорость вращения достигает значения  $\sigma_s$ , при котором пластическая деформация происходит во всем объеме кольца. Условием пластического течения в рассматриваемом случае, когда действуют только растягивающие нагрузки, причем тангенциальные преобладают, является  $\sigma_{rr} = \sigma_s$ , где  $\sigma_s$  – предел текучести материала. При этом условии уравнение (1.22) принимает вид:

$$\frac{d(r\sigma_{rr})}{dr} = \sigma_s - \rho\omega^2 r^2 \quad (1.22)$$

Интегрируя это уравнение, получаем формулу радиальных напряжений во вращающемся кольце

$$r\sigma_{rr} - r_{\min}\sigma_{rr\min} = \sigma_s(r - r_{\min}) - \frac{\rho\omega_s^2}{3}(r^3 - r_{\min}^3) \quad (1.23)$$

или

$$r_{\max}\sigma_{rr\max} - r\sigma_{rr} = \sigma_s(r_{\max} - r) - \frac{\rho\omega_s^2}{3}(r_{\max}^3 - r^3)$$

При условии (1.17)

$$r\sigma_{rr} = \sigma_s(r - r_{\min}) - \frac{\rho\omega_s^2}{3}(r^3 - r_{\min}^3) \quad (1.24)$$

$$r\sigma_{rr} = \frac{\rho\omega_s^2}{3}(r_{\max}^3 - r^3) - \sigma_s(r_{\max} - r)$$

Критическую скорость  $\sigma_s$  найдем подстановкой в (1.24)  $r = r_{\max}$ :

$$\frac{\rho\omega_s^2}{3\sigma_s} = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{r_{\max}^3 - r_{\min}^3} \quad (1.25)$$

При  $\sigma_s = 78,4$  МПа критическая скорость вращения рассматриваемого кольца равна  $N_s = 30\sigma_s/\pi = 16730$  об/мин.

При расчете деформаций кольца примем, что его пластическое растяжение происходит за счет уменьшения высоты, что связано с упомянутыми выше преобладающими плоскими растягивающими нагрузками. По закону Гука относительные деформации в этом случае равны

$$u_{rr} = \frac{\sigma_{rr} - \mu\sigma_{\phi\phi}}{E} = \frac{\sigma_{rr} - \mu\sigma_s}{E} \quad (1.26)$$

Радиальные смещения  $u_r$  найдем интегрированием (2.24), подставив в него  $\sigma_{rr}$  из (1.24):

$$u_{r_{\max}} - u_r = \frac{\sigma_s(1 - \mu)(r_{\max} - r) - \frac{\rho\omega_s^2}{9}(r_{\max}^3 - r^3) + \left(\frac{\rho\omega_s^2}{3}r_{\max}^2 - \sigma_s\right)r_{\max} \ln \frac{r_{\max}}{r}}{E} \quad (1.27)$$

Для однозначного определения смещений надо задать смещение на одной из цилиндрических поверхностей кольца, например наружной. На ней действуют только тангенциальные напряжения и

$$u_{r_{\max}} = r_{\max} \left( \frac{\sigma_s}{E} + \varepsilon \right) \quad (1.28)$$

где  $\varepsilon$  – пластическая относительная тангенциальная деформация материала на наружной поверхности. Тогда (1.27) с учетом (1.28) запишется:



$$u_r = r_{\max} \varepsilon + \frac{\sigma_s [(1-\mu)r + \mu r_{\max}] + \frac{\rho \omega_s^2}{9} (r_{\max}^3 - r^3) + \left( \sigma_s - \frac{\rho \omega_s^2}{3} r_{\max}^2 \right) r_{\max} \ln \frac{r_{\max}}{r}}{E} \quad (1.29)$$

Каковы станут напряжения и деформации в кольце после прекращения его вращения? При снятии центробежной нагрузки произойдет обратная упругая деформация, в кольце установятся радиальные напряжения, равные разности (1.23) и (1.15), тангенциальные напряжения, равные разности (1.15), и радиальные смещения, равные разности (1.29) и (1.20). При условии (1.17):

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= \sigma_s \left( 1 - \frac{r_{\min}}{r} \right) - \frac{\rho \omega_s^2}{3r} (r^3 - r_{\min}^3) - \frac{3+\mu}{8} \left( 1 - \frac{r_{\min}^2}{r^2} \right) \left( \frac{r_{\max}^2}{r^2} - 1 \right) \rho \omega_s^2 r^2 = \\ &= \sigma_s \left( 1 - \frac{r_{\min}}{r} \right) - \rho \omega_s^2 r^2 \left[ \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{r_{\min}^3}{r^3} \right) - \frac{3+\mu}{8} \left( 1 - \frac{r_{\min}^2}{r^2} \right) \left( \frac{r_{\max}^2}{r^2} - 1 \right) \right], \end{aligned} \quad (1.30)$$

$$\sigma_{\phi\phi} = \sigma_s - \left[ \frac{3+\mu}{8} \left( 1 + \frac{r_{\min}^2}{r^2} \right) \left( \frac{r_{\max}^2}{r^2} + 1 \right) - \frac{1+\mu}{2} \right] \rho \omega_s^2 r^2, \quad (1.31)$$

$$\begin{aligned} u_r = r_{\min} \varepsilon + \frac{\sigma_s [(1-\mu)r + \mu r_{\min}] - \frac{\rho \omega_s^2}{9} (r^3 - r_{\min}^3) + \left( \frac{\rho \omega_s^2}{3} r_{\min}^2 - \sigma_s \right) r_{\min} \ln \frac{r}{r_{\min}}}{E} - \\ - \frac{\rho \omega_s^2 r^3}{E} \left\{ \frac{3+\mu}{8} \left[ \left( 1 + \frac{r_{\min}^2}{r^2} \right) \left( \frac{r_{\max}^2}{r^2} + 1 \right) - \mu \left( 1 - \frac{r_{\min}^2}{r^2} \right) \left( \frac{r_{\max}^2}{r^2} - 1 \right) \right] - \frac{1+\mu}{2} \right\} \end{aligned} \quad (1.32)$$

На рисунке 1.17 показаны радиальные зависимости (1.24), (1.29) – (1.32) для рассматриваемого кольца при скорости вращения  $N = N_s = 16730$  об/мин.

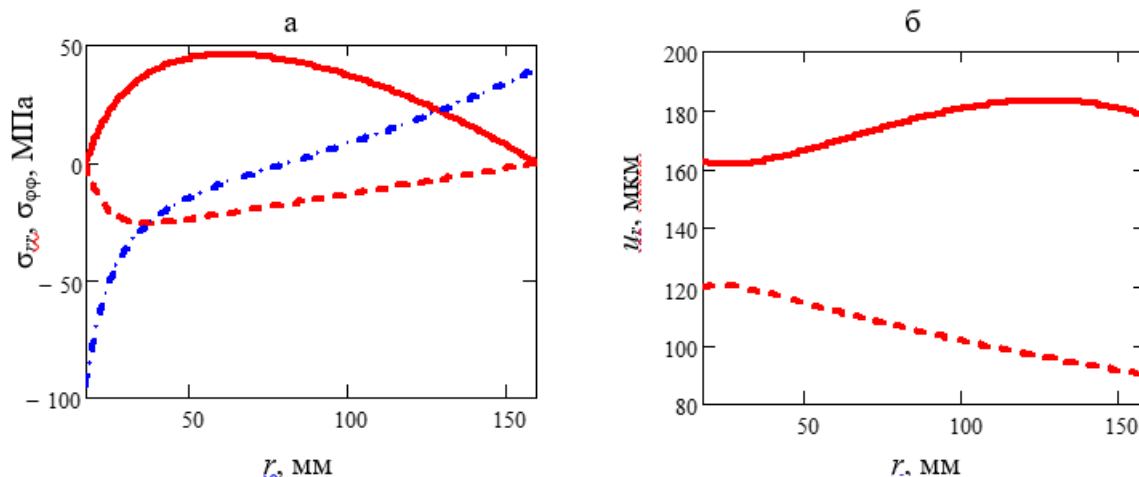


Рисунок – 1.17 – Напряженно-деформированное состояние вращающегося алюминиевого кольца при наличии пластического течения: а) радиальные при вращении (сплошная линия), радиальные остаточные (пунктир) и тангенциальные остаточные (штрих-пунктир) напряжения; б) радиальные смещения при вращении (сплошная линия) и остаточные (пунктир).

Видно, что, как и в случае отсутствия пластического течения, радиальные напряжения на внутренней и наружной цилиндрических поверхностях кольца принимают нулевые значения, внутри – положительны и имеют максимум ближе к центру. Радиальные смещения в целом увеличиваются при удалении от центра, однако есть минимум и максимум. После прекращения вращения устанавливаются радиальные сжимающие напряжения с максимумом ближе к центру. При этом остаточные тангенциальные напряжения монотонно возрастают с отрицательных в центре до положительных на периферии. Остаточные радиальные смещения везде положительные и монотонно убывают от центра к периферии.

При изготовлении корпусов контролировались внутренний и наружный диаметры кольцевых заготовок до и после разгона 17000 об/мин. Их увеличение составляло 100-150 мкм внутри и 50-100 мкм снаружи, что

согласуется с результатами проведенных расчетов и свидетельствует о пластическом течении во всем объеме заготовки.

Разработанные в технологии термомеханической обработки деталей из сплава 1370 обеспечивают требуемые прочность кожуха при испытании повышенным давлением 1,7 кгс/см<sup>2</sup>, точность и стабильность размеров корпуса.

### **1.2.3 Модернизированная конструкция «кожуха» блока УДМ**

Произведем построение 3D модели «кожуха» для дальнейшего анализа и сравнения с исходной конструкцией.

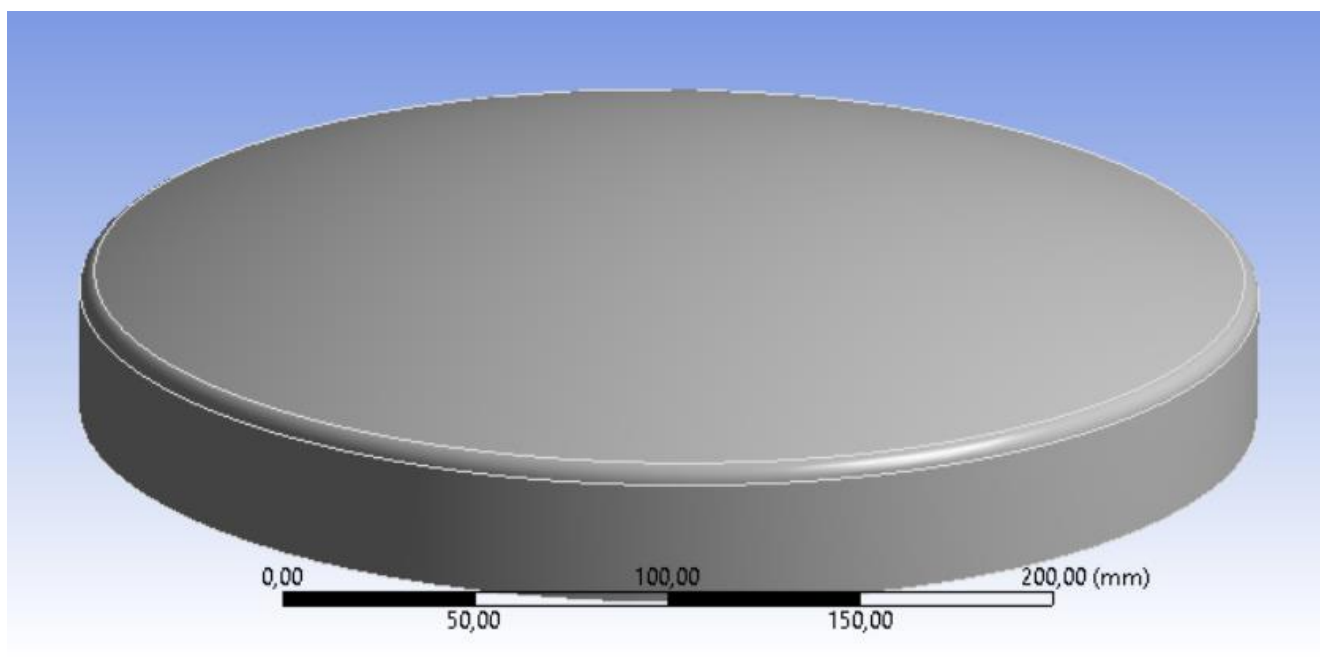


Рисунок – 1.18 Модернизированная 3D модель «кожух» блока УДМ.

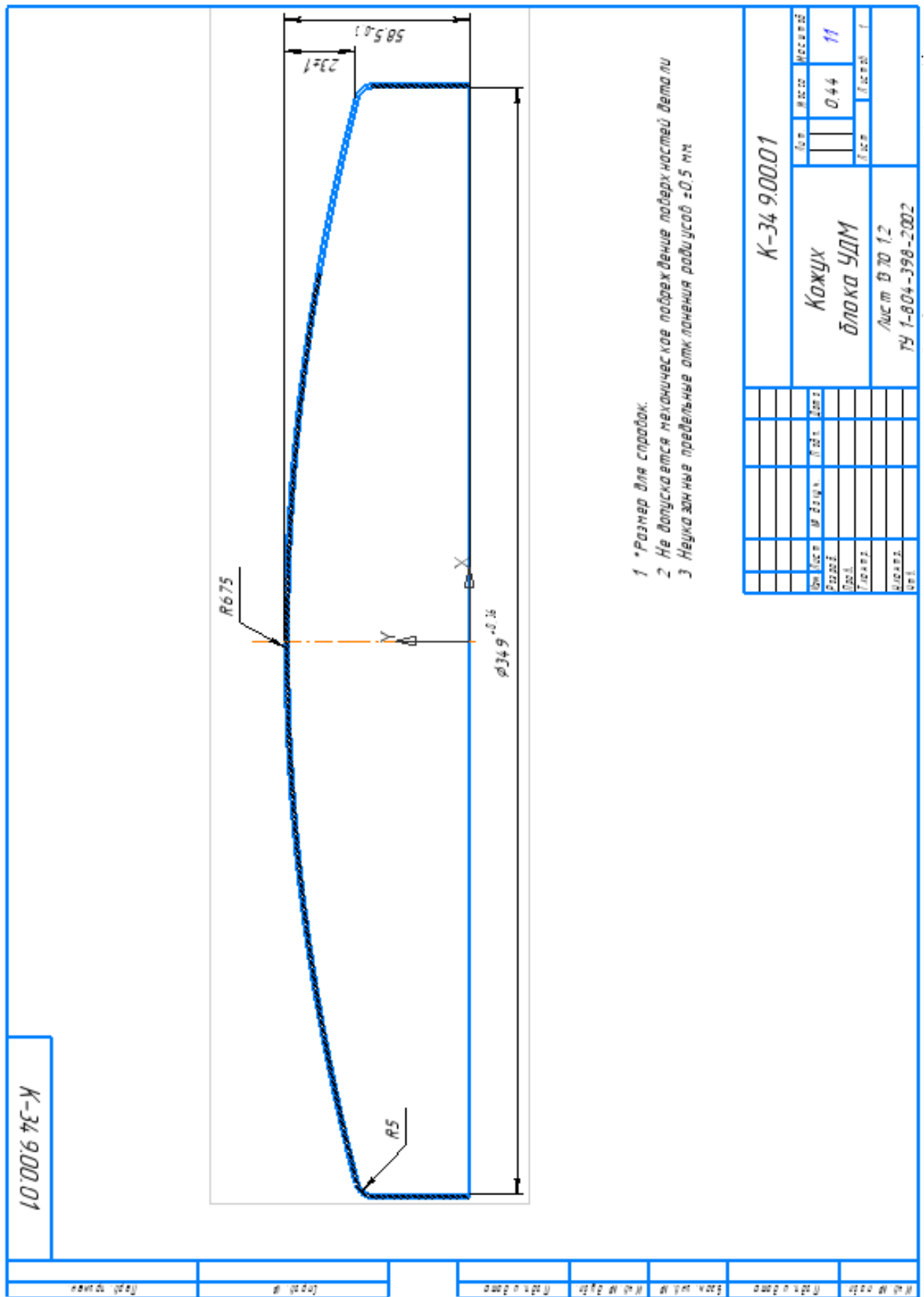


Рисунок – 1.19 Чертеж модернизированного «кожуха» блока УДМ.

## 1.2.4 Анализ напряженного состояния существующей конструкции «кожуха» блока УДМ

Закрепив и приложив нагрузки по схеме, изображенной на рисунке 1.20 и в технических условиях, произведем расчет и проанализируем полученные данные методом конечных элементов в среде Ansys.

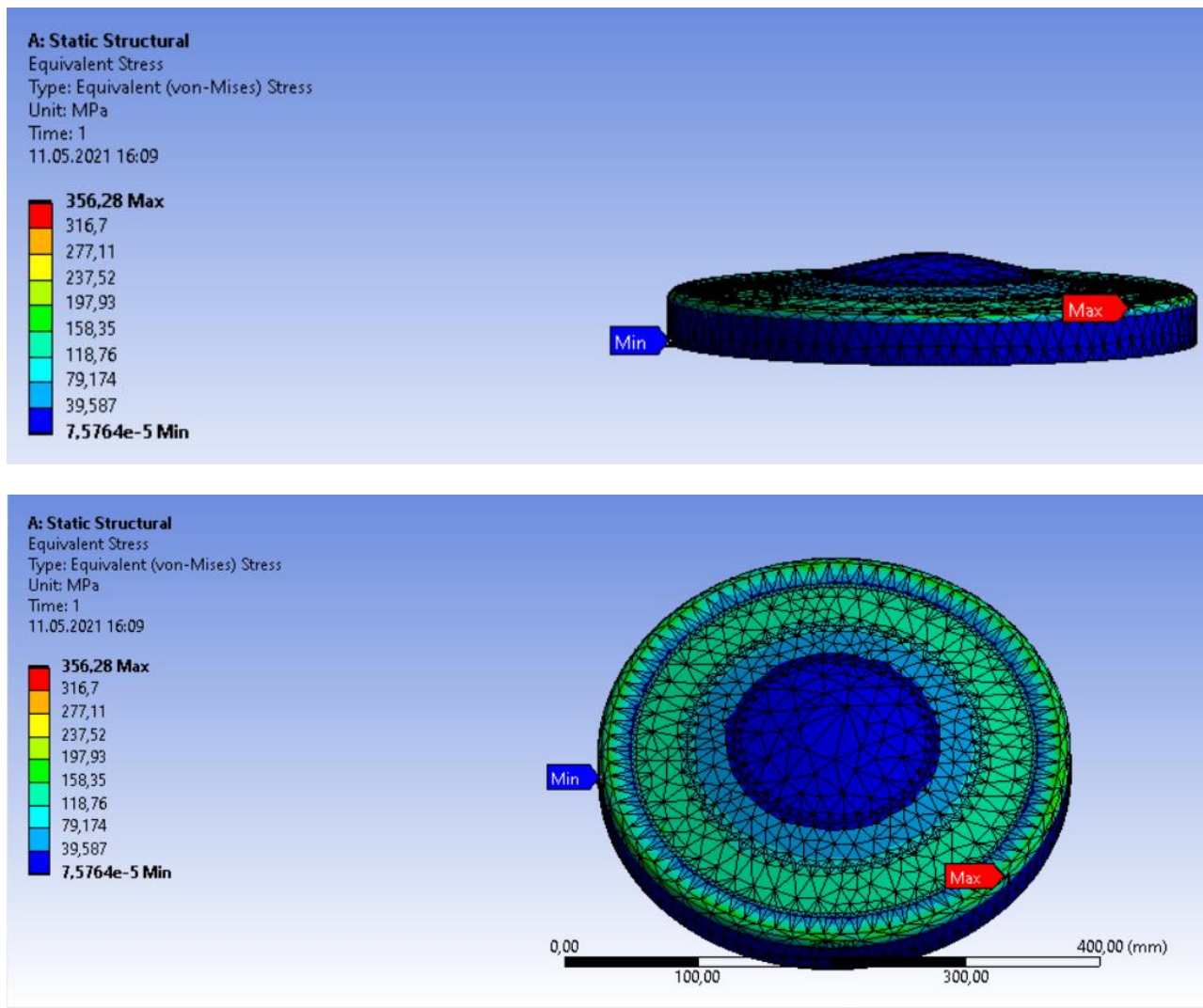


Рисунок – 1.20 Внутренние напряжения, возникающие в герметичном кожухе при нагрузке, заданной в технических условиях.

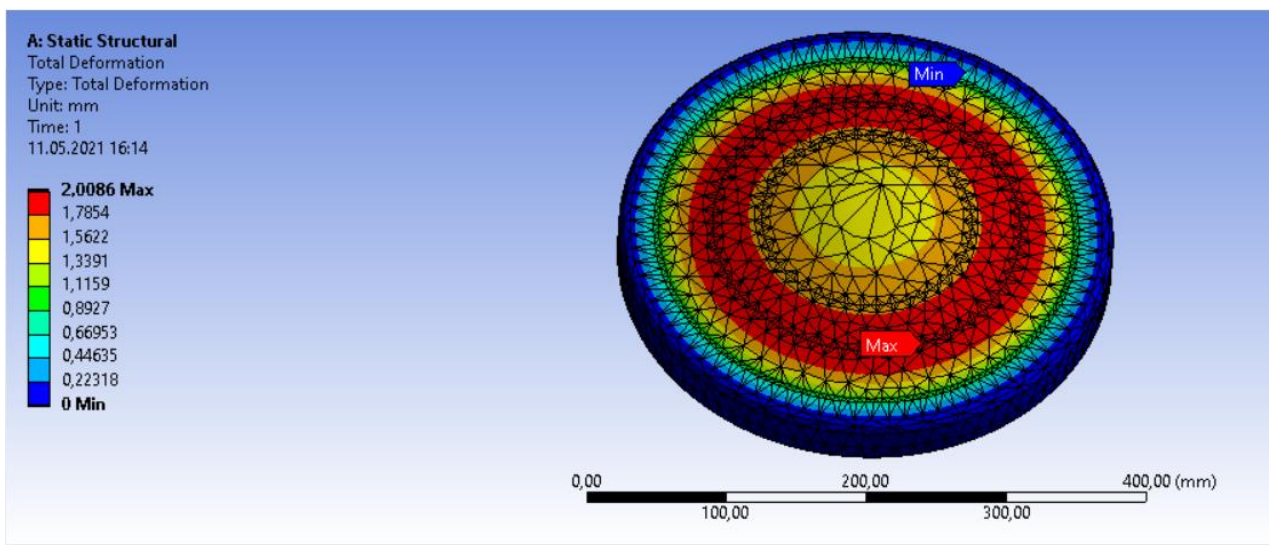
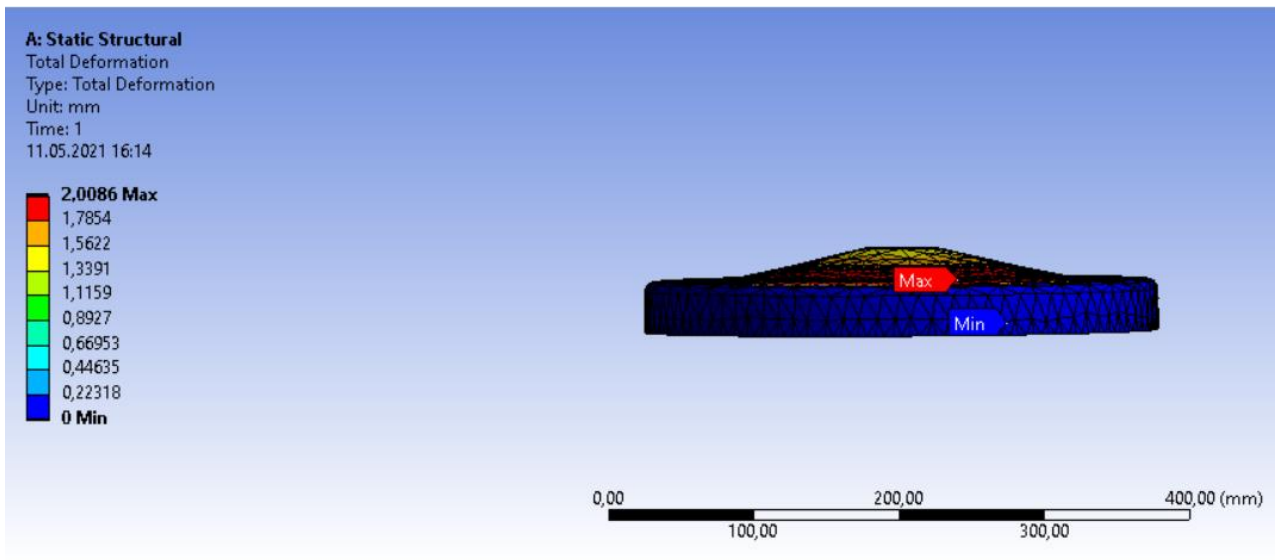


Рисунок – 1.21 Деформация герметичного кожуха при нагрузке, заданной в технических условиях.

Из полученных расчетов видим, наибольшее напряжение приходится на грань кожуха и составляет 356,28 МПа, максимальную деформацию испытывает конусная часть кожуха и составляет 2мм. Произведем замену сплава АМг2 на сплав 1370 и выполним конструктивную модернизацию с увеличением радиуса поверхности и уменьшением толщины стенки герметичного кожуха.

## 1.2.5 Анализ напряженного состояния модернизированной конструкции «кожуха» блока УДМ

При помощи встроенного инструмента САМ системы ANSYS, произведем параметрическую оптимизацию кожуха гироскопа.

Параметрическая оптимизация - процесс нахождения значений параметров, при которых достигается максимальная эффективность выполнения процедуры или обеспечиваются наилучшие характеристики устройства или системы с точки зрения установленного критерия.

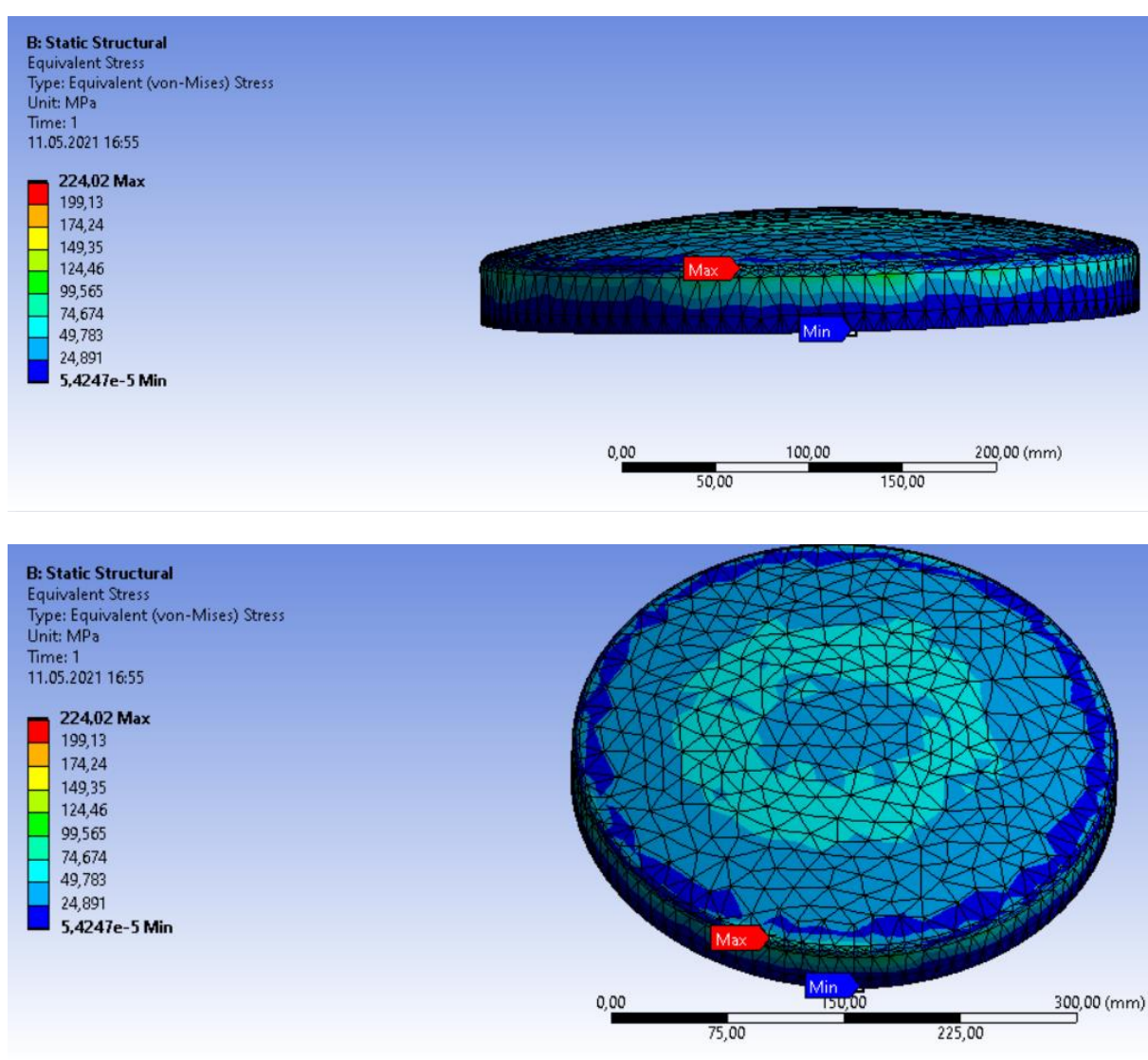


Рисунок – 1.22 Внутренние напряжения, возникающие при нагрузке, заданной в технических условиях.



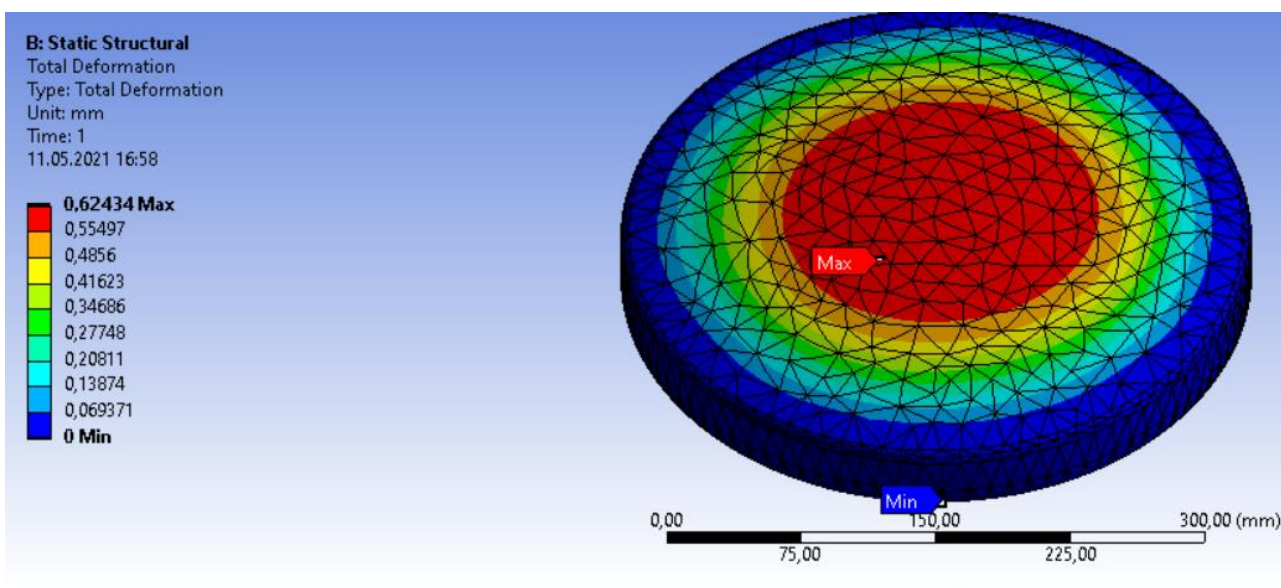
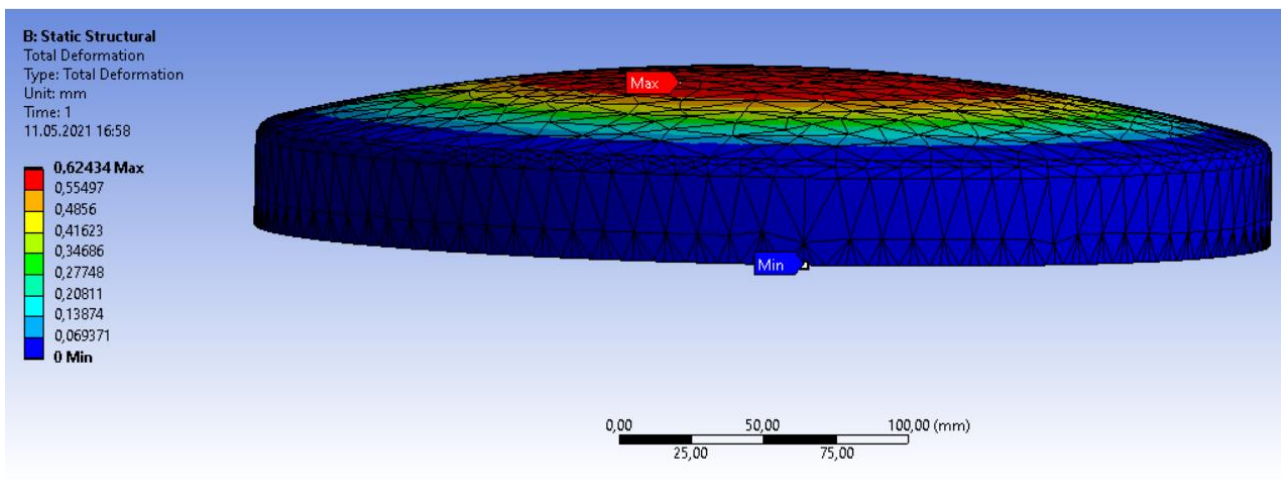


Рисунок – 1.23 Деформация кожуха при нагрузке, заданной в технических условиях.

Из полученных расчетов видим, наибольшее напряжение приходится на грань кожуха и составляет 224 МПа, максимальную деформацию испытывает центр – 0,62 мм. На основании полученных данных, составим сравнительную таблицу (таблица 1.7) для полного отображения результатов исследования.

Построим график зависимости максимального внутреннего напряжения от радиуса поверхности герметичного кожуха (рис.1.24).



Таблица 1.7 Сравнительная таблица исходного и модернизированного «герметичного кожуха» блока УДМ.

|  | Исходная модель | Модернизированная модель |
|--|-----------------|--------------------------|
| Материал сплава                                  | АМг2            | 1370                     |
| Толщина листа, мм.                               | 2               | 1,2                      |
| Временное сопротивление ( $\sigma_{0,2}$ ), МПа. | $\leq 167$      | $\leq 400$               |
| Предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ ), МПа.        | $\leq 100$      | $\leq 360$               |
| Относительное удлинение ( $\delta$ ), %.         | 19              | 8                        |
| Плотность, кг/дм <sup>3</sup> .                  | 2.69            | 2.7                      |
| Вес, кг.   | 0.7             | 0.44                     |
| Максимальное напряжение, МПа.                    | 356.28          | 224                      |
| Максимальная деформация, мм.                     | 2               | 0,62                     |

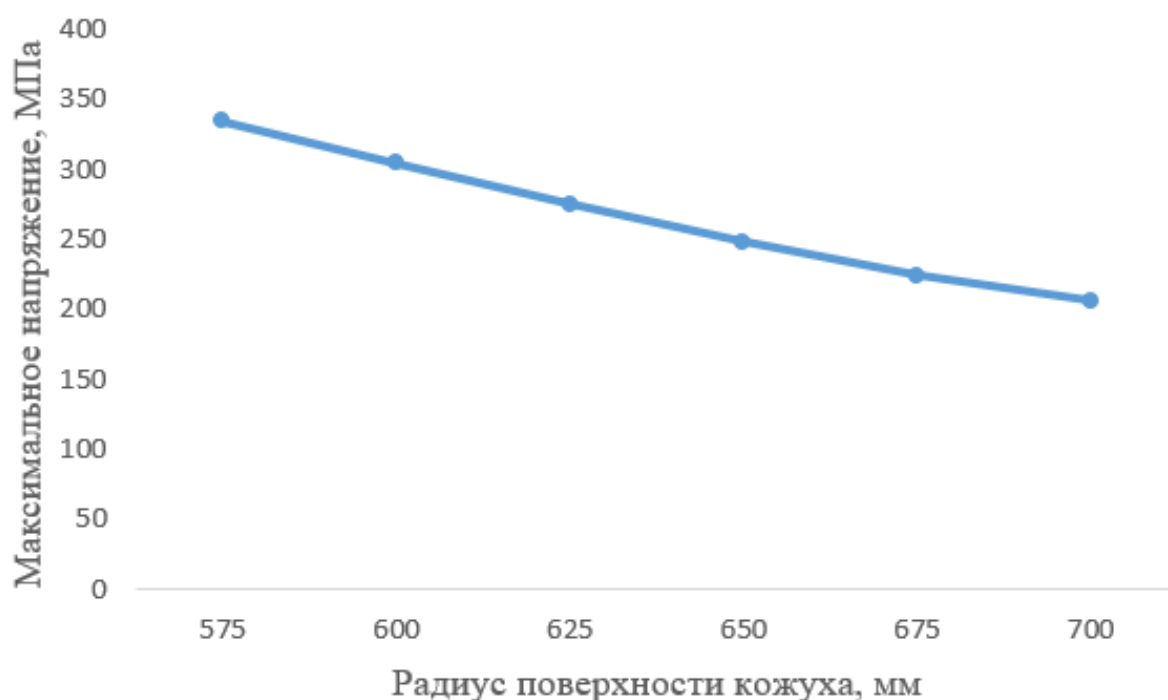


Рисунок – 1.24 График зависимости максимального напряжения от радиуса поверхности герметичного кожуха.

На графике (рис.1.24) видим, что при увеличении радиуса поверхности, максимальные внутренние напряжения уменьшаются и концентрируются на стенке герметичного кожуха. Модернизация конструкции произведена успешно, показатель напряжения снижен на 132 Мпа, деформация поверхности уменьшилась на 1.38 мм. Основные конструктивные требования указанные в технических условия выдержаны в полном объеме.

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

Студенту:

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                  |
| 4АМ92         | Петрушов Владимир Сергеевич |

|                            |              |                                  |                           |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------|
| <b>Школа</b>               | <b>ИШНПТ</b> | <b>Отделение школы (НОЦ)</b>     | <b>ОМ</b>                 |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура | <b>Направление/специальность</b> | 15.04.01.«Машиностроение» |

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

|   |  |
|---|--|
| <i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | <i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска<br/>Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i> |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | <i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>  |
| <i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | <i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>   |

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

|  |   |
|--|---|
| <i>1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>               | <i>Расчет конкурентоспособности<br/>SWOT-анализ</i>   |
| <i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>   | <i>Структура работ. Определение трудоемкости.<br/>Разработка графика проведения исследования</i>  |
| <i>3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>               | <i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>  |
| <i>4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i> | <i>Интегральный финансовый показатель.<br/>Интегральный показатель ресурсоэффективности.<br/>Интегральный показатель эффективности.</i> |

**Перечень графического материала**

|   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Оценка конкурентоспособности ИР</i></li> <li><i>2. Матрица SWOT</i></li> <li><i>3. Диаграмма Ганта</i></li> <li><i>4. Бюджет НИ</i></li> <li><i>5. Основные показатели эффективности НИ</i></li> </ol> |  |
|---|--|

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 01.02.2021 |
|---|------------|

**Задание выдал консультант:**

|                  |                       |                        |         |          |
|------------------|-----------------------|------------------------|---------|----------|
| Должность        | ФИО                   | Ученая степень, звание | Подпись | Дата     |
| Доцент ОСГН ШБИП | Кашук Ирина Вадимовна | К.Т.Н<br>ДОЦЕНТ        |         | 08.02.21 |

**Задание принял к исполнению студент:**

|        |                             |         |          |
|--------|-----------------------------|---------|----------|
| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата     |
| 4АМ92  | Петрушов Владимир Сергеевич |         | 08.02.21 |

## **2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы: определение перспективности научно-исследовательского проекта, возможности модернизации конструкции тонкостенных деталей методом конечных элементов.

### **2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований**

#### **2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Чтобы определить потенциальных потребителей данной разработки, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование рынка по использованию технологического процесса детали «Кожух гироскопа» производят по критериям: отрасль и вид реализации. Сегментирование рынка по выбранным критериям представлено в таблице 3.1.

Таблица 2.1 – Карта сегментирования рынка

| Критерии                                    |                 | Вид реализации      |                                     |
|---|-----------------|---------------------|-------------------------------------|
|   |                 | Универсальный стенд | Имитаторы космического пространства |
| Отрасль реализации:<br>Контроль и испытания | АО НПЦ «Полюс»  | есть                | есть                                |
|   | АО НПФ «Микран» | есть                | нет                                 |
|   | АО «ТЭМЗ»       | есть                | нет                                 |

Из анализа карты, можно сделать вывод, что в отрасли контроля и испытаний для реализации модернизированного технологического процесса изготовления детали универсальные стенды используются в АО НПЦ «Полюс», АО НПФ «Микран» и АО «ТЭТЗ». Следовательно, высока конкуренция. А имитаторы космического пространства для контроля и испытания детали «Кожух гироскопа» используются только в АО НПЦ «Полюс». И соответственно, разработка модернизированного технологического процесса не имеет конкуренции и будет востребована у предприятий данной сферы.

### 2.1.2 Анализ конкурентных технических решений

С помощью данного анализа в научный проект вносятся коррективы, которые помогают успешно противостоять конкурентам. В ходе проведения анализа необходимо оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Для этой цели используется вся имеющаяся информация о конкурентных разработках.

Также анализ дает возможность оценить сравнительную эффективность разработки и определить направления для ее дальнейшего повышения.

В нашей работе для проведения анализа рассмотрим контроль и испытания детали «Кожух гироскопа» на универсальном стенде и на имитаторе космического пространства.

Анализ проводится с помощью оценочной карты. Оценочная карта приведена в таблице 2.2. Для формирования оценочной карты отбираем два стенда, с помощью которых можно произвести контроль и испытания детали «Кожух гироскопа», а также используем всю имеющуюся о них информацию.

Оценку будем производить по 5 бальной шкале, где за наиболее слабую позицию принимается – 1, а за наиболее сильную – 5. Суммарный вес показателей должен быть равен 1.

Экспертная оценка включает сравнение конкурентных разработок по техническим и экономическим критериям.

Сравнение будем делать на основе данных о двух стендах, используемых при контроле и испытаниях детали «Кожух» на АО НПЦ «Полюс». Рассматриваемые стенды: универсальный (У) и имитатор космического пространства (Ч).

Таблица 2.2 – Оценочная карта конкурентных технических решений

| Критерии оценки   | Вес критерия<br><b>В<sub>і</sub></b> | Баллы     |           | Конкурентоспособность |           |
|---|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------|
|   |                                      | <b>Бу</b> | <b>Бч</b> | <b>Ку</b>             | <b>Кч</b> |
| 1   | 2                                    | 3         | 4         | 5                     | 6         |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b> |                                      |           |           |                       |           |
| 1. Повышение производительности труда                   | 0.2                                  | 3         | 5         | 0.6                   | 1         |
| 2. Удобство в эксплуатации                              | 0.12                                 | 3         | 5         | 0.36                  | 0.6       |
| 3. Энергоэкономичность                                  | 0.05                                 | 4         | 3         | 0.2                   | 0.15      |
| 4. Надежность показаний                                 | 0.05                                 | 4         | 5         | 0.2                   | 0.25      |
| 5. Простота эксплуатации                                | 0.11                                 | 5         | 4         | 0.55                  | 0.44      |
| 6. Сокращение количества операций при испытаниях        | 0.11                                 | 3         | 5         | 0.33                  | 0.55      |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>      |                                      |           |           |                       |           |
| 1. Конкурентоспособность продукта                       | 0.11                                 | 3         | 5         | 0.33                  | 0.55      |
| 2. Уровень проникновения на рынок                       | 0.06                                 | 3         | 4         | 0.18                  | 0.24      |
| 3. Цена   | 0.05                                 | 5         | 4         | 0.25                  | 0.2       |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации                     | 0.14                                 | 4         | 4         | 0.56                  | 0.56      |
| Итого   | <b>1</b>                             | 37        | 44        | 3.56                  | 4.54      |

Выражение для расчета анализа конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i * B_i \quad (2.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность конкурента;

$B_i$  – вес показателя;

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности разработки:

$$K_k = \frac{K_{\text{ч}}}{K_{\text{у}}} = \frac{4.54}{3.56} = 1.28, \quad (2.2)$$

так как  $K_k > 1$ , то, следовательно, контроль и испытания на имитаторе космического пространства конкурентоспособна.

### 2.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, которые описывают качество новой разработки и ее перспективность на рынке, и позволяют принимать решение целесообразности вложения денежных средств в разрабатываемый проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины групп показателей:

1) оценки коммерческого потенциала разработки

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) оценки качества разработки.

- динамический диапазон;
- вес;

- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Таблица 2.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки  | Вес критерия | Баллы | Максимальный балл | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное значение (5×2) |
|--|--------------|-------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1  | 2            | 3     | 4                 | 5                            | 6                               |
| <b>Показатели оценки качества разработки</b>                 |              |       |                   |                              |                                 |
| 1.Повышение Производительности труда у пользователя          | 0.2          | 90    | 100               | 0.90                         | 0.18                            |
| 2.Удобство в эксплуатации                                    | 0.12         | 85    | 100               | 0.85                         | 0.10                            |
| 3.Энергоэкономичность  | 0.05         | 60    | 100               | 0.60                         | 0.03                            |
| 4. Надежность  | 0.05         | 85    | 100               | 0.85                         | 0.04                            |
| 5.Простота эксплуатации                                      | 0.11         | 80    | 100               | 0.80                         | 0.09                            |
| 6. Сокращение количества операций при испытаниях             | 0.11         | 95    | 100               | 0.95                         | 0.10                            |
| <b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b> |              |       |                   |                              |                                 |
| 7. Конкурентоспособность продукта                            | 0.11         | 90    | 100               | 0.90                         | 0.09                            |
| 8.Уровень проникновения на рынок                             | 0.06         | 80    | 100               | 0.80                         | 0.05                            |
| 9. Цена  | 0.05         | 75    | 100               | 0.75                         | 0.04                            |
| 10.Предполагаемый срок эксплуатации                          | 0.14         | 85    | 100               | 0.85                         | 0.12                            |
| Итого  | 1            |       |                   |                              | 0.851                           |



Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \times V_i \quad (2.3)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

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

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Таким образом, в результате расчетов получено  $P_{cp} = 85 \%$ , следовательно, разработка перспективна.

#### **2.1.4 SWOT- анализ**

SWOT – анализ проводят для того, что бы исследовать внешнюю и внутреннюю среды проекта.

Проведение анализа осуществляется в несколько этапов:

- Описание сильных (**S**trengths) и слабых (**W**eaknesses) сторон проекта, выявление возможностей (**O**pportunities) и угроз (**T**hreats), которые могут появиться во внешней среде проекта;

- Выявление соответствия внешним условиям среды сильных и слабых сторон исследовательского проекта;

- Составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Матрица SWOT

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | <p><b>Сильные стороны (S)</b><br/> С1. Сокращение количества операций при испытаниях;<br/> С2. Простота и удобство в эксплуатации;<br/> С3. Высокая точность обработки;<br/> С4. Время контроля и испытания детали;</p>   | <p><b>Слабые стороны (W)</b><br/> Сл1. Высокая стоимость станда по сравнению с универсальным стандом;<br/> Сл2. Необходимы специальные навыки работы со стандом;<br/> Сл3. Большие энергетические затраты;<br/> Сл4. Длительный и сложный ремонт при поломке.</p>   |
| <p><b>Возможности (O)</b><br/> В1. Использование разработки другими предприятиями;<br/> В2. Появление дополнительного спроса на данную разработку<br/> В3. Государственная поддержка;<br/> В4. Техническая оснащенность предприятия;</p>   | <p>В1С2. За счет простоты и удобства в эксплуатации, разработка может использоваться другими предприятиями;<br/> В2С3. Благодаря высокой точности полученных данных появится дополнительный спрос на данную разработку;<br/> В3С2С3. Высокая точность данных, в совокупности с упрощенным процессом контроля и испытаний способствуют получению государственной поддержки;<br/> В4С1С4. Оптимизировать процесс контроля и испытаний детали позволяет техническая оснащенность предприятия</p> | <p>В3Сл1. Высокая стоимость может быть компенсирована за счет государственной поддержки;<br/> В4Сл4. Ремонт при поломке станка может происходить в более короткие сроки за счет технической оснащенности предприятия.</p>   |
| <p><b>Угрозы (T)</b><br/> У1. Активность конкурентов;<br/> У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства<br/> У3. Отсутствие у некоторых потребителей необходимого оборудования для контроля и испытаний детали;<br/> У4. Отсутствие у некоторых потенциальных потребителей квалифицированных кадров.</p> | <p>У1С2С4. За счет быстрого и простого механизма контроля и испытания детали, обеспечивается преимущество перед конкурентными разработками;<br/> У2С1С2С3С4. Использование качественного оборудования и новых технологий поможет поднять спрос на новую разработку;<br/> У4С1С2. Сокращение количества операций при контроле и испытаниях, и простота в эксплуатации, позволят потенциальным потребителям легко найти квалифицированных рабочих.</p>  | <p>У2У3Сл1Сл3. Высокая стоимость станда и большие энергетические затраты могут привести к отсутствию спроса на новые технологии и к тому, что некоторые потребители не будут иметь необходимого оборудования, но растущая потребность в высокоэффективном производстве и поддержка государства помогут уменьшить риски;</p> |

Из проделанного анализа видим, что разработка модернизированного технологического процесса изготовления детали «Кожух» с применением имитатора космического пространства для контроля и испытаний целесообразна и перспективна. Достоинства превосходят недостатки, к тому же имеются возможности по улучшению проекта.

## **2.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование необходимых для осуществления проекта работ осуществляется в следующей последовательности:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для исполнения проекта формируется рабочая группа, состоящая из научного руководителя (НР) и исполнителя – инженера (И).

Составим список этапов и работ, производимых в проекте. Распределим этапы работ в соответствии с должностями исполнителей.

Результаты формирования структуры работ отражены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Основные этапы работ

| Основные этапы                  | № работы | Содержание работ                               | Исполнитель |
|---------------------------------|----------|--|-------------|
| Разработка технического задания | 1        | Составление и утверждение технического задания | НР          |
| Выбор направления исследований  | 2        | Подбор и изучение материала по теме            | И           |
|                                 | 3        | Выбор направления исследований                 | НР, И       |
|                                 | 4        | Календарное планирование работ по теме         | НР          |

Продолжение таблицы 2.5

|  |    |  |       |
|--|----|--|-------|
| Теоретические и экспериментальные исследования | 5  | Выполнение технологической части работы                                  | И     |
|  | 6  | Согласование выполненной технологической части с научным руководителем   | НР, И |
|  | 7  | Выполнение исследовательской части                                       | И     |
|  | 8  | Согласование выполненной исследовательской части с научным руководителем | НР, И |
| Обобщение и оценка результатов                 | 9  | Оценка эффективности полученных результатов                              | НР    |
| Оформление отчета                              | 10 | Составление пояснительной записки  | И     |

### 2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость исследуемого проекта имеет вероятностный характер, из-за зависимости от большого количества тяжело учитываемых факторов. Оценивается трудоемкость экспертным путем.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости  $t_{ожі}$  находится по приведенной формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (2.4)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

Продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , определяем учитывая ожидаемую трудоемкость.  $T_p$  учитывает параллельное выполнение работ несколькими исполнителями (руководитель и инженер).

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (2.5)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб.-дн.;

$t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – количество исполнителей, которые выполняют одновременно одну и ту же работу на определенном этапе, чел.

### 2.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

График проведения научного исследования (диаграмма Ганта) – график, выполненный в виде протяженных по времени отрезков, представляющих выполняемые в проекте работы.

Такой способ построения является наиболее удобным и наглядным.

Отрезки откладываются на временной шкале, в соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче.

Для того чтобы построение графика было более удобным, длительность каждой выполняемой работы из рабочих дней переводится в календарные дни.

Чтобы перевести рабочие дни в календарные, необходимо использовать следующую формулу:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (2.6)$$

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

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

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

Расчет коэффициента календарности на 2021 год осуществляется с помощью следующего выражения:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.48 \quad (2.7)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни за год;

$T_{\text{вых}}$  – выходные дни за год;

$T_{\text{пр}}$  – праздничные дни за год.

В таблицу 2.6 вносим все рассчитанные по данным формулам значения.

Таблица 2.6 – Временные показатели проведения научного исследования

| № работ<br>ы | Название работы  | Трудоемкость работ  |    |                     |    |                     |     | Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$ |      | Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$ |    |
|--------------|--|---------------------|----|---------------------|----|---------------------|-----|--|------|--|----|
|              |  | $t_{min}$ , чел.дн. |    | $t_{max}$ , чел.-дн |    | $t_{ож}$ , чел.-дн. |     | НР   | И    | НР   | И  |
|              |  | НР                  | И  | НР                  | И  | НР                  | И   |  |      |  |    |
| 1            | Составление и утверждение технического задания             | 1                   | 0  | 3                   | 0  | 1.8                 | 0   | 1.8  | 0    | 3  | 0  |
| 2            | Подбор и изучение материалов по теме                       | 0                   | 5  | 0                   | 7  | 0                   | 5.8 | 0  | 5.8  | 0  | 8  |
| 3            | Выбор направления исследований                             | 2                   | 3  | 2                   | 3  | 2                   | 3   | 1  | 1.5  | 1  | 2  |
| 4            | Календарное планирование работ по теме                     | 2                   | 0  | 3                   | 0  | 2.4                 | 0   | 2.4  | 0    | 3  | 0  |
| 5            | Выполнение технологической части                           | 0                   | 25 | 0                   | 30 | 0                   | 27  | 0  | 27   | 0  | 40 |
| 6            | Согласование технологической части с научным руководителем | 2                   | 2  | 4                   | 4  | 2.8                 | 2.8 | 1.4  | 1.4  | 2  | 2  |
| 7            | Выполнение конструкторской части                           | 0                   | 15 | 0                   | 20 | 0                   | 17  | 0  | 17   | 0  | 25 |
| 8            | Согласование конструкторской части с научным руководителем | 2                   | 2  | 3                   | 3  | 2.4                 | 2.4 | 1.2  | 1.2  | 2  | 2  |
| 9            | Оценка эффективности полученных результатов                | 2                   | 0  | 3                   | 0  | 2.4                 | 0   | 2.4  | 0    | 3  | 0  |
| 10           | Составление пояснительной записки                          | 0                   | 7  | 0                   | 10 | 0                   | 8.2 | 0  | 8.2  | 0  | 12 |
| ИТОГО:       |  |                     |    |                     |    |                     |     | 10,2                                       | 62,1 | 14   | 91 |

Таблица 2.7 – Итоговая таблица

|   |                 |
|---|-----------------|
|   | Количество дней |
| Общее количество календарных дней для выполнения работы                   | 95              |
| Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер      | 91              |
| Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель | 14              |

В соответствии с таблицей 2.6, построим график Ганта (таблица 2.8)

Таблица 2.8 – График Ганта.

| № работы | Вид работы                         | Исполнители | Тк <sub>к</sub> , кал. дн. | Продолжительность выполнения работ |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
|----------|------------------------------------|-------------|----------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|---|
|          |                                    |             |                            | февр.                              |   | март |   |   | апрель |   |   | май |   |   | июнь |   |   |
|          |                                    |             |                            | 2                                  | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1    | 2 |   |
| 1        | Составление ТЗ                     | НР          | 2                          |                                    | ■ |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
| 2        | Изучение литературы                | И           | 8                          |                                    | ▨ |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
| 3        | Выбор напр. исследований           | НР          | 1                          |                                    |   | ■    |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
|          |                                    | И           | 2                          |                                    |   | ▨    |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
| 4        | Календарное планирование           | НР          | 3                          |                                    |   | ■    |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
| 5        | Выполнение тех. части              | И           | 40                         |                                    |   |      | ▨ | ▨ | ▨      | ▨ |   |     |   |   |      |   |   |
| 6        | Согласование тех. части с НР       | НР          | 2                          |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
|          |                                    | И           | 2                          |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
| 7        | Выполнение исследовательской части | И           | 25                         |                                    |   |      |   |   |        |   | ▨ | ▨   | ▨ |   |      |   |   |
| 8        | Согласование исслед. части с НР    | НР          | 2                          |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
|          |                                    | И           | 2                          |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
| 9        | Оценка эффективности результатов   | НР          | 3                          |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |
| 10       | Составление пояснительной записки  | И           | 12                         |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   | ▨ |

■ – научный руководитель, ▨ – инженер

Исходя из полученного графика, делаем вывод, что выполнение технологической части работы нужно начать в третьей декаде февраля и закончить в первой декаде июня 2021 года. Также видно, что инженер работает

большее количество дней, чем научный руководитель, это объясняется тем, что основной целью руководителя является постановка задач инженеру.

## 2.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе планирования бюджета НТИ должны быть полностью отражены все виды расходов, связанные с его выполнением.

Бюджет НТИ включает следующие статьи затрат:

- материальные затраты НТИ
- основная заработная плата исполнителей проекта;
- дополнительная заработная плата исполнителей проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- амортизационные отчисления;
- накладные расходы.

### 2.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расх\ i} \quad (2.8)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, используемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$  – количество материального ресурса  $i$ -го вида, которое планируется для использования при выполнении научного исследования;

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида приобретаемого материального ресурса;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.



$m$  – количество видов материальных ресурсов, используемых для выполнения научного исследования;

Результаты расчетов материальных затрат на разработку технологического процесса детали «Кожух» представлены в таблице 2.10.

В ходе научно-технического исследования у приобретенных видов продукции не было остатков, следовательно, не нужно исключать стоимость возвратных отходов.

Таблица 2.10 – Материальные затраты

| Наименование материалов                   | Цена за ед., руб. | Кол-во, ед. | Сумма, руб. |
|---|-------------------|-------------|-------------|
| Комплексы канцелярских принадлежностей    | 340.00            | 5           | 1 700.00    |
| Картридж для лазерного принтера           | 3 490.00          | 1           | 3 490.00    |
| Офисные бумаги А4 (в форме малой коробки) | 490.00            | 1           | 490.00      |
| Итого:                                    |                   |             | 5680.00     |

Материальные расходы на выполнение НТИ составили 5680.00 рублей.

### 2.3.2 Основная заработная плата

Данный раздел посвящен расчету заработной платы студента и заработной платы научного руководителя.

Основная заработная плата состоит из оклада и премии, которая ежемесячно выплачивается в размере 20–30% от оклада или тарифа.

Для руководителя и студента (инженера), непосредственно выполняющих проект, расчет основной заработной платы осуществляется по выражению:

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (2.9)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20% от  $Z_{осн}$ ).

Для руководителя (инженера) предприятия производится расчет основной заработной платы по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{осн} \times T_p \quad (2.10)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, которые выполняются работником, раб. дн. (таблица 2.7);

$Z_{осн}$  – средняя за день заработная плата работника, руб.

Расчет среднедневной заработной платы осуществляется следующим образом:

Для инженера, работающего по шестидневной рабочей неделе:

$$Z_{осн} = \frac{Z_m \times M}{F_\partial} = \frac{33150 \times 10.4}{241} = 1430.5 \text{ руб.}, \quad (2.11)$$

Для руководителя, работающего по шестидневной рабочей неделе:

$$Z_{осн} = \frac{Z_m \times M}{F_\partial} = \frac{38025 \times 10.4}{236} = 1675.7 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц, руб.:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \times (1 + k_{np} + k_\partial) \times k_p = 19500 \times (1 + 0.3 + 0.2) \times 1.3 = 38025 \text{ руб.} \quad (2.12)$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \times (1 + k_{np} + k_\partial) \times k_p = 17000 \times (1 + 0.3 + 0.2) \times 1.3 = 33150 \text{ руб.}$$

где  $Z_{мс}$  – заработная плата по тарифной ставке/оклад, руб.;

$k_{np}$  – коэффициент на премии (0.3);

$k_\partial$  – коэффициент, учитывающий доплаты и надбавки (0.2);

$k_p$  – районный коэффициент (для г.Томск принимается 1.3);

$M$  – число рабочих месяцев (то есть без отпуска) за год:

Для 6-дневной недели, при отпуске в 48 раб. дней –  $M = 10.4$  месяца.

$F_o$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технических работников, раб. дн. (таблица 2.11).

Таблица 2.11 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени                                      | Руководитель | Инженер |
|--|--------------|---------|
| Календарное число дней   | 365          | 365     |
| Количество нерабочих дней<br>- выходные дни<br>- праздничные дни | 66           | 66      |
| Потери рабочего времени<br>- отпуск<br>- невыходы по болезни     | 48+15        | 48+10   |
| Действительный годовой фонд рабочего времени                     | 236          | 241     |

Таблица 2.12 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители  | $Z_{тс},$<br>руб. | $k_{np}$ | $k_{д}$ | $k_{p}$ | $Z_{м},$<br>руб. | $Z_{он},$<br>руб. | $T_{p},$<br>раб.дн. | $Z_{осн},$<br>руб. |
|--------------|-------------------|----------|---------|---------|------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| Руководитель | 19500             | 0.3      | 0.2     | 1.3     | 38025            | 1675.7            | 10.2                | 17092.14           |
| Инженер      | 17000             | 0.3      | 0.2     | 1.3     | 33150            | 1430.5            | 62.1                | 88834.05           |
| Итого        |                   |          |         |         |                  |                   |                     | 105926.19          |

### 2.3.3 Дополнительная заработная плата исполнительской системы

Дополнительная заработная плата исполнителей проекта учитывает величину доплат (в соответствии с Трудовым кодексом РФ) за отклонение условий труда от нормальных и величину выплат, обеспечивающих гарантии и компенсации.

Рассчитываем дополнительную заработную плату:

$$\text{Руководитель: } Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0.12 \cdot 17092.14 = 2051.06 \text{ (руб)}. \quad (2.13)$$

$$\text{Инженер: } Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0.12 \cdot 88834.05 = 10660.09 \text{ (руб)}.$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату (равен 0.12).

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

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Расчет отчислений производится по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \times (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (2.14)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент, учитывающий отчисления для уплаты в внебюджетные фонды.

Пониженная ставка принимается равной 27.1 % основываясь на п.1 ст.58 закона №212-ФЗ.

Таблица 2.13 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель  | $Z_{осн}$ , руб. | $Z_{доп}$ , руб. | $k_{внеб}$ | $Z_{внеб}$ |
|--------------|------------------|------------------|------------|------------|
| Руководитель | 17092.14         | 2051.06          | 0.271      | 5187.81    |
| Инженер      | 88834.05         | 10660.09         | 0.271      | 26962.91   |
| Итого        | 105926.19        | 12711.15         | -          | 32150.72   |

### 2.3.5 Амортизация

В настоящем разделе произведен расчет амортизации персонального компьютера, который необходим для разработки технологического процесса изготовления детали.

Срок эксплуатации персонального компьютера примем равным 3 года. Исходя из этого, рассчитываем месячную норму амортизации:

$$K = \frac{1}{n} \times 100\% \quad (2.15)$$

$$K = \frac{1}{3} \times 100\% = 33.3\%$$

где  $n$  – срок полезного использования, год.

Амортизация равна:

$$A = \frac{K \times I}{365} \times m \quad (2.16)$$

$$A = \frac{0.333 \times 45000}{365} \times 91 = 3735.99 \text{ руб.}$$

где  $I$  – итоговая сумма, тысячи рублей;

$m$  – срок использования, дни.

В таблице 2.14 представим данные и итог расчета амортизационных отчислений.

Таблица 2.14 – Расчет амортизации персонального компьютера

| Наименование изделия   | Кол-во единиц изделия | Общая стоимость изделия, тыс.руб. | Норма амортизации, % | Амортизация, руб. |
|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|
| Персональный компьютер | 1                     | 45                                | 33.3                 | 3735.99           |

### 2.3.6 Накладные расходы

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (2.17)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (5680 + 105926.19 + 12711.15 + 32150.72 + 3735.99) \cdot 0,16 = \\ &= 25632.65 \text{ руб.} \end{aligned}$$

### 2.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Основополагающей величиной при формировании бюджета затрат проекта является значение ранее вычисленных затрат научно-исследовательской работы.

Таблица 2.15 – Бюджет затрат НИИ

| Наименование статьи   | Сумма, руб.     | Доля, %    | Примечание   |
|---|-----------------|------------|--------------|
| 1. Материальные затраты НИИ                                     | 5680.00         | 3.06       | 2.4.1        |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 105926.19       | 57         | 2.4.2        |
| 3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 12711.15        | 6.84       | 2.4.3        |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды                             | 32150.72        | 17.3       | 2.4.4        |
| 5. Амортизация  | 3735.99         | 2          | 2.4.5        |
| 6. Накладные расходы  | 25632.65        | 13.8       | 2.4.6        |
| <b>Бюджет затрат НИИ</b>  | <b>185836.7</b> | <b>100</b> | <b>2.4.7</b> |

Из данных таблицы видим, итоговый расход на проектирование равен 185836.7 руб. Большой процент затрат (57%) пришелся на затраты по основной заработной плате исполнителей проекта, следующими по величине стали отчисления во внебюджетные фонды (17.3%) и далее накладные расходы (13.8%). Дополнительная заработная плата исполнителей проекта составляет (6.84%) от общего количества затрат. Минимальное количество затрат пришлось на амортизационные отчисления (2%).

### 2.3.8 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (2.18)$$

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

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

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

В качестве максимальной стоимости исполнения научно-исследовательского проекта принимается минимальный размер гранта на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые 85 молодыми учеными - кандидатами наук в научных организациях РФ, так как аналогичные научные исследования ранее не проводились.

Рассчитанные интегральные финансовые показатели для различных исполнений:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } 1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{185836.7}{2000000} = 0.09$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } 2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{2000000}{2000000} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета

затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i, \quad (2.19)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания ;

$n$  – число параметров сравнения.

В таблице 2.16 представлен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 2.16 – Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии оценки                                    | Весовой коэффициент параметра | Исп. 1 | Исп. 2 |
|--|-------------------------------|--------|--------|
| 1. Повышение производительности труда пользователя | 0.4                           | 5      | 3      |
| 2. Удобство в эксплуатации                         | 0.3                           | 5      | 3      |
| 3. Энергоэкономичность                             | 0.12                          | 4      | 4      |
| 4. Надежность работы                               | 0.18                          | 5      | 4      |
| Итого:   | 1                             | 4.75   | 3.5    |

Для разрабатываемого проекта, значение интегрального показателя ресурсоэффективности равно:

$$I_{p-исп1} = 0.4 \times 5 + 0.3 \times 5 + 0.12 \times 4 + 0.18 \times 5 = 4.88$$

$$I_{p-исп2} = 0.4 \times 3 + 0.3 \times 3 + 0.12 \times 4 + 0.18 \times 4 = 3.3$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:



$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп1}} = \frac{4.88}{0.21} = 23.24 \quad (3.20)$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп2}} = \frac{3.3}{1} = 3.3$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 2.17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} = \frac{23.24}{3.3} = 7.04 \quad (2.21)$$

Таблица 2.17 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели  | Исп. 1 | Исп. 2 |
|-------|---|--------|--------|
| 1     | Интегральный финансовый показатель разработки           | 0.09   | 1      |
| 2     | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4.88   | 3.3    |
| 3     | Интегральный показатель эффективности                   | 23.24  | 3.3    |
| 4     | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 7.04   |        |

В результате проведения оценки ресурсоэффективности разрабатываемого проекта было получено достаточно высокое значение интегрального показателя (4.88 из 5). Полученный результат показывает эффективность реализации данного проекта.

Высокие оценки производительности, надежности, эксплуатации говорят о корректности выполненной разработки.

По результатам раздела можно сделать вывод, что цель раздела была выполнена с помощью поэтапного решения задач:

1) Проведен анализ конкурентных технических решений. Итогом анализа стал выбор способа контроля и испытаний детали «Кожух» на имитаторе космического пространства;

2) Следующим этапом было проведение QuaD-технологии и SWOT-анализа для исследования внешней и внутренней среды проекта. Оценив факторы, влияющие на проект, был сделан вывод о целесообразности осуществления проекта;

3) На этапе планирования был построен план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера. С помощью графика, в календарных днях, было определено: - общее количество дней необходимых для выполнения работы – 95 дней, количество рабочих дней инженера – 91 и количество рабочих дней руководителя проекта - 14;

4) Был рассчитан бюджет научно-технического исследования. Из расчета видно, что на реализацию проекта необходимы затраты в размере 185.8 тыс. руб.;

5) Последним этапом было определение и оценка интегрального финансового показателя ресурсоэффективности. Значение показателя получилось равным 0.13, что показывает эффективности реализации данного проекта.

По итогам раздела было установлено, что проект отвечает необходимым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Является конкурентоспособным и привлекательным с экономической точки зрения. Экономическая эффективность достигается за счет использования наиболее оптимального и конкурентоспособного электрооборудования.

Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0.09, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4.88, по сравнению с 3.3;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 23.24, по сравнению с 3.3, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

|               |                                |
|---------------|--------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                     |
| 4АМ92         | Петрушову Владимиру Сергеевичу |

|                            |              |                                  |                         |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|-------------------------|
| <b>ШКОЛА</b>               | <b>ИШНПТ</b> | <b>Отделение</b>                 | <b>Материаловедения</b> |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура | <b>Направление/специальность</b> | 15.04.01 Машиностроение |

**Тема ВКР:**

|   |  |
|---|--|
| <b>Модернизация конструкции и технологии изготовления герметичного кожуха.</b>  |  |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |  |
| 1. Характеристика объекта исследования и области его применения.  | Объект исследования: кожух гироскопа.<br>Область применения: системы ориентации космического летательного аппарата.  |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |  |
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:<br>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;<br>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ<br>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ<br>ГОСТ 21752-76<br>ГОСТ 22269-76<br>ГОСТ 22613-77<br>ГОСТ 22614-77<br>ГОСТ 22615-77<br>ГОСТ 22902-78<br>ГОСТ 23000-78  |
| 2. Производственная безопасность<br>2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования:<br>2.2. Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.<br>– Основные требования к оборудованию.   | Основными вредными факторами на рабочем месте являются: производственный шум, электромагнитное поле, несоответствие нормам микроклимата, освещенность.<br>К числу опасных факторов следует отнести наличие - механические опасности; подвижные части производственного оборудования; острые кромки, заусенцы; электрический ток; повышенную степень пожароопасности. |
| 3. Экологическая безопасность:  | Наличие отходов (металлическая стружка, лампы, СОЖ, абразивная пыль, лом инструмента) потребовали разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов.<br>Разработаны мероприятия предотвращения загрязнения окружающей среды.  |

|   |  |
|---|--|
| <p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> | <p>Рассмотрена ситуация ЧС: несанкционированное проникновение на рабочее место. Предусмотрены мероприятия по обеспечению устойчивости работы производства.</p> |
|---|--|

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 01.02.2021 |
|---|------------|

**Задание выдал консультант:**

| Должность             | ФИО                           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------|------------|
| Старший преподаватель | Скачкова Лариса Александровна |                        |         | 08.02.2021 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата       |
|--------|-----------------------------|---------|------------|
| 4АМ92  | Петрушов Владимир Сергеевич |         | 08.02.2021 |

### **3 Социальная ответственность.**

Целью раздела «Социальная ответственность» является выявление и анализ вредных и опасных факторов, имеющих место на объекте, и разработка мер по снижению воздействия этих факторов на персонал, а также принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

При этом необходимо следовать правилам, нормам, инструкциям и прочим документам, закрепленным в нормативно-правовых актах. Социальная ответственность должна обеспечивать: исключение несчастных случаев; защиту здоровья работников; снижение вредных воздействий на окружающую среду; экономное расходование невозобновляемых природных ресурсов.

В данном разделе рассматривается производственное помещение, промышленного предприятия АО НПЦ «Полус», механический цех №2, в котором производится изготовление детали «Кожух гироскопа».

При производстве детали «Кожух гироскопа» на участке цеха используется следующее оборудование: токарно-винторезный станок 16К20Ф3, вертикальный обрабатывающий центр LITZ CV-2000В.

#### **3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

Правовой основой законодательства в области обеспечения безопасности жизнедеятельности, является Конституция — Основной закон государства. Законы и иные правовые акты, принимаемые в Российской Федерации, не должны ей противоречить; гарантом Конституции Российской Федерации является Президент.

### **3.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Согласно трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021 каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным

актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

### **3.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочее место оператора представляет собой отдельный производственный участок, закрепленный за одним рабочим. Рациональная организация рабочего места повышает эффективность использования станков с ЧПУ и способствует выполнению работы на них с наименьшими затратами труда.

Основными факторами, влияющими на организацию рабочего места, является:

- технологический процесс;
- организация производства;
- система обеспечения рабочего места заготовками;
- система обеспечения рабочего места технической документацией;
- система обеспечения рабочего места инструментами и приспособлениями;
- система обеспечения рабочего места ремонтнообслуживающим оборудованием.



Компоновка рабочего места должна быть осуществлена согласно требованиям:

1. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
2. ГОСТ 21752-76. Система «человек-машина». Маховики управления и штурвалы. Общие эргономические требования.
3. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
4. ГОСТ 22613-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования.
5. ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования
6. ГОСТ 22615-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования.
7. ГОСТ 22902-78. Система «человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.
8. ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.
9. ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления.

## 3.2 Производственная безопасность

### 3.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Таблица 3.1. Возможные опасные и вредные факторы при изготовлении детали «кожух»

| Факторы<br>(ГОСТ 12.0.003-2015)   | Этапы работ |              | Нормативные<br>документы   |
|---|-------------|--------------|--|
|   | Разработка  | Изготовление |  |
| 1. Повышенный уровень шума на рабочем месте;  | +           | +            | ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.008-76 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ<br>ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ<br>ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ<br>ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ<br>ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ<br>ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ<br>Р 2.2.2006–05.<br>СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03<br>СанПиН 2.2.4.548–96<br>СанПиН 1.2.3685-21<br>СН 2.2.4/2.1.8.562–96<br>СН 2.2.4/2.1.8.566–96<br>СП 60.13330.2016<br>СП 51.13330.2011<br>СНиП 23-03-2003<br>СП 52.13330.2016 |
| 2. Повышенный уровень вибрации;   |             | +            |  |
| 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений;   | +           | +            |  |
| 4. Недостаточная освещенность на рабочем месте;   | +           | +            |  |
| 5. Неблагоприятные условия микроклимата.  | +           | +            |  |
| 6. Химические вещества.   |             | +            |  |
| 7. Механические повреждения (движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования) |             | +            |  |
| 8. Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности заготовок, инструментов и оборудования;           |             | +            |  |
| 9. Электрический ток;   | +           | +            |  |
| 10. Пожароопасность.  | +           | +            |  |

### 3.2.1.1 Повышенный уровень шума

Источником возникновения шума при изготовлении детали являются технологическое оборудование производственных цехах, металлообрабатывающие станки основного и вспомогательного производств.

Допустимые уровни звукового давления следует принимать, как в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Допустимые уровни звукового давления

| Вид трудовой деятельности, рабочие места   | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ |
|--|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---|
|  | 31,5   | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |   |
| Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий | 107  | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   | 80  |

В цехе №2 уровень шума составляет 70 дБ.

В качестве коллективных средств защиты применяют:

звукоизоляция ограждающих конструкций; звукопоглощающие конструкции и экраны; глушители шума; правильная планировка и застройка.

В качестве средств индивидуальной защиты (СИЗ) применяются:

противошумные вкладыши; наушники; шлемофоны.

### 3.2.1.2 Повышенный уровень вибрации

При изготовлении детали «Кожух гироскопа», на рабочего может воздействовать локальная вибрация, источником которой являются станки.

Для нашего случая выбираем категорию: 3 тип «а». Характеристика условий труда: технологическая вибрация, воздействующая на операторов

стационарных машин и оборудования или передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Санитарные нормы показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 ч приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Допустимые уровни вибрационной нагрузки

| Вид вибрации | Категория вибрации по санитарным нормам | Направление действия | Нормативные, скорректированные по частоте и эквивалентные скорректированные значения |     |                                  |     |
|--------------|---|----------------------|--|-----|----------------------------------|-----|
|              |   |                      | виброускорения   |     | виброскорости                    |     |
|              |   |                      | $m \times c^{-2}$  | дБ  | $m \times c^{-2} \times 10^{-2}$ | дБ  |
| Локальная    | -                                       | $X_L, Y_L, Z_L$      | 2.0  | 126 | 2.0                              | 112 |
| Общая        | 3 тип «а»                               | $Z_0, Y_0, X_0$      | 0.1  | 100 | 0.2                              | 92  |

В качестве коллективных средств защиты применяют:

балансировка вращающихся масс; уменьшение технологических допусков на изготовление и сборку машин и инструментов; ограничение времени воздействия вибрации; виброизоляция рабочих зон; использование эффекта вибродемпфирования.

В качестве средств индивидуальной защиты (СИЗ) применяются:

перчатки; виброизолирующая обувь; вкладыши и прокладки, изготовленные из упругодемпфирующих материалов; коврики.

### 3.2.1.3 Электромагнитное поле

Источником электрических полей являются системы передачи и распределения электроэнергии, а также электрооборудование.

В соответствии с ГОСТ 12.1.002 – 84 устанавливается допустимая мощность электромагнитных полей (ЭМП):

$< 10 \text{ мкВт/см}^2$  – допускается пребывание в течение 8 часов;

от 10 до 100  $\text{мкВт/см}^2$  – пребывание не более 2 часов;

$> 100 \text{ мкВт/см}^2$  – допустимое время пребывания  $< 20$  минут;

Для населения – не более  $1 \text{ мкВт/см}^2$ .

Предельно допустимые уровни (ПДУ) магнитного поля устанавливаются в зависимости от времени пребывания персонала для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия установлены в СанПиН 2.2.4.1191-03 и приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Предельно допустимые уровни магнитного поля

| Время пребывания (ч) | Допустимые уровни МП Н<br>(А/м)/В (мкТл) при<br>воздействии |           |
|----------------------|---|-----------|
|                      | общем   | локальном |
| <1                   | 1600/2000   | 6400/8000 |
| 2                    | 800/1000  | 3200/4000 |
| 4                    | 400/500   | 1600/2000 |
| 8                    | 80/100  | 800/1000  |

К коллективным средствам защиты относятся:

стационарные устройства экранирования; переносные (передвижные) экранирующие средства защиты.

К индивидуальным средствам защиты относятся:

защитные костюмы; для защиты глаз-специальные радиозащитные очки, плотно прилегающие к коже лица и имеющие стекла, отражающие электромагнитные излучения (очки изготавливаются из стекол специальных марок металлизированных диоксидом олова.); специальная обувь, имеющая электропроводящую резиновую подошву.

#### **3.2.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

В механическом цехе №2 предусматривается естественное, совмещенное и искусственное освещение.

СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» – определяет нормы освещенности для производственных помещений в

зависимости от характеристики зрительной работы, определяемой минимальным размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и свойствами фона.

Нормы освещенности производственных помещений приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Нормы освещенности для производственных помещений

| Характеристика зрительной работы | Разряд зрительной работы | Подразряд зрительной работы | Искусственное освещение                |                              | Естественное освещение                    |                       | Совмещенное освещение                     |                       |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--|------------------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
|                                  |                          |                             | Освещенность, лк                       |                              | КЕО* $e_n$ , %                            |                       |   |                       |
|                                  |                          |                             | при системе комбинированного освещения | при системе общего освещения | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении |
| Средней точности                 | IV                       | б*                          | 500                                    | 200                          | 4   | 1.5                   | 2.4                                       | 0.9                   |

\*К подразряду зрительной работы «б» относится периодическая работа при постоянном пребывании в помещении

Мероприятия по устранению недостаточной освещенности: применение комбинированного освещения. Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год.

### **Расчет искусственного освещения**

#### **Выбор системы освещения.**

Выбираем систему общего равномерного освещения с горизонтальной рабочей поверхностью.

#### **Выбор источников света.**

Мы выбираем люминесцентные лампы типа ЛБ (белой цветности).

Выбираем ЛБ-80:  $U = 220V$ , световой поток  $\Phi = 5200$  лм,  $P_{л} = 80$  Вт.

#### **Выбор светильников и их размещение.**

Выбираем светильники типа ОД-2-80: количество и мощность лампы 2x80, размеры (длина/ширина/высота) 1531x266x198 мм, КПД = 75%.

### **Выбор нормируемой освещенности.**

Основные требования и значения нормируемой освещенности (Е) рабочих поверхностей изложены в СНиП 23-05-95. Необходимые сведения для выбора нормируемой освещенности приведены в таблице 4.5. Следовательно, освещенность должна быть 200 лк.

### **Расчет общего равномерного освещения.**

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока.

Дано помещение с размерами: длина  $A=60$  м, ширина  $B=20$  м, высота  $H=8$  м,  $S=1200$  м<sup>2</sup>. Высота рабочей поверхности  $h_{рп} = 1.5$ . Требуется создать освещенность  $E_n=250$  лк.

Коэффициент отражения стен  $\rho_c=50\%$ , потолка  $\rho_{п}=70\%$ . Коэффициент запаса  $K_z=1,5$ , коэффициент неравномерности  $Z=1.1$ .

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильники типа ОД, интегральный критерий оптимальности расположения светильников  $\lambda = 1.1$ .

Приняв  $h_c=0,4$  м, получаем  $h=7-0.4-1.5=5.1$  м;

Расстояние между светильниками  $L=\lambda \cdot h=1.1 \times 5.1=5.61$ .

Размещаем светильники в 3 ряда. В каждом ряду можно установить 27 светильников типа ОД мощностью 80 Вт (с длиной 1.53 м).

Рассчитаем расстояние между светильниками исходя из размеров помещения:

$$A = 27 \times 1531 + 26L_1 + 2 \times \frac{L_1}{3}, \text{ отсюда } L_1=700 \text{ мм, } \frac{L_1}{3} = 233 \text{ мм}$$

$$B = 3 \times 266 + 2L_2 + 2 \times \frac{L_2}{3}, \text{ отсюда } L_2=7200 \text{ мм, } \frac{L_2}{3} = 2400 \text{ мм}$$

Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 3.1). Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении  $N=162$ .

Находим индекс помещения:

$$i = S / h(A + B) = 1200 / 6.1(60 + 20) = 2.5$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = 0.56$

Световой поток лампы определяем по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \times S \times K_z \times Z}{N \times \eta} = \frac{250 \times 1200 \times 1.5 \times 1.1}{162 \times 0.56} = 5456 \text{ Лм}$$

Определяем потребный световой поток лампы в каждом из рядов:

Выбираем лампу ЛБ 80 Вт с потоком 5200 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} 100\% \leq +20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq 4.9\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = N \times P_{\text{л}} = 162 \times 80 = 12960 \text{ Вт}$$

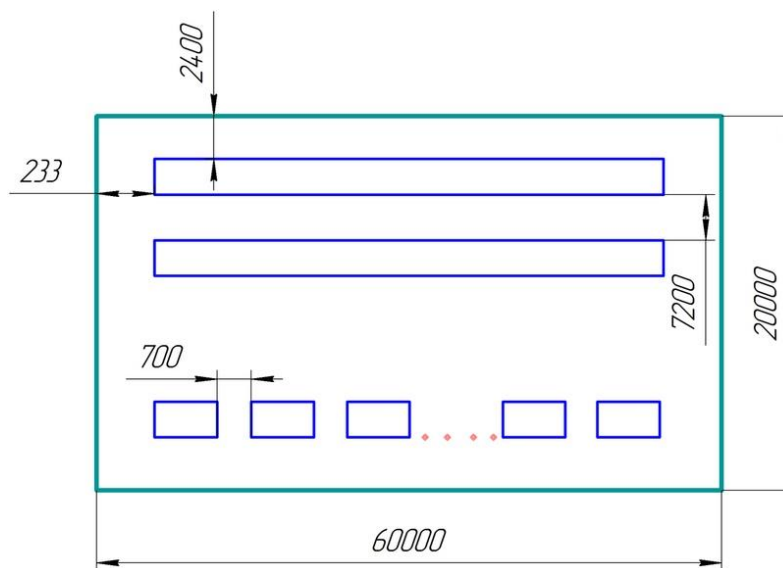


Рисунок 3.1 – План размещения светильников с люминесцентными лампами



### 3.2.1.5 Отклонение параметров микроклимата

К основным нормируемым показателям микроклимата воздуха относятся: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

Санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения, в соответствии с «СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, представленным в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Оптимальные величины показателей микроклимата

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | Пб*<br>(233 - 290)                         | 17 - 19                 | 60 - 40                            | 0.2                            |
| Теплый      | Пб<br>(233 - 290)                          | 19 - 21                 | 60 - 40                            | 0.2                            |

\*К категории Пб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, представленным в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Допустимые величины показателей микроклимата

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С   |                           | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |                           |
|-------------|--|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
|             |  | Диапазон ниже оптимальных | Диапазон выше оптимальных |                                    | Диапазон ниже оптимальных      | Диапазон выше оптимальных |
| Холодный    | Пб (233-290)                               | 15-16,9                   | 19,1-20                   | 15-75                              | 0,2                            | 0,4                       |
| Теплый      |  | 16-18,9                   | 21,1-27                   |                                    | 0,2                            | 0,5                       |

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тел работающих от производственных источников, представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения

| Облучаемая поверхность тела, % | Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более |
|--------------------------------|---|
| 50 и более                     | 35  |
| 25-50                          | 70  |
| Не более 25                    | 100   |

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать в зависимости от категории работ следующих величин: 21°С - при категории работ Пб.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата используется: механизация и автоматизация технологических процессов; устройство систем вентиляции, системы местного кондиционирования воздуха и отопления; защита от источников теплового излучения с помощью теплозащитных экранов; применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы.

К числу СИЗ от неблагоприятных климатических условий относят спецодежду, спецобувь, средства защиты рук и головные уборы.

### 3.2.1.6 Вредные вещества

При обработке детали присутствуют такие вредные вещества, как: смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) и технологические масла (ТС). Пары этих жидкостей в воздухе, не должны превышать величину предельно-допустимой концентрации. Основные вещества и их концентрации сведены в таблице 3.9.

Периодичность контроля за ПДК вредных веществ устанавливается в зависимости от класса опасности вредного вещества: для 1 класса - не реже 1 раза в 10 дней, 2 класса - не реже 1 раза в месяц, 3 и 4 классов - не реже 1 раза в квартал согласно ГОСТ 12.1.007-76.

Таблица 3.9 – Предельно допустимые концентрации компонентов смазочно-охлаждающей жидкости

| Наименование вещества | Величина ПДК, (мг/м <sup>3</sup> ) | Класс опасности |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------|
| Акриловая кислота     | 5.0                                | 3               |
| Акролеин              | 0.2                                | 2               |
| Аммиак                | 20.0                               | 4               |
| Ацетон                | 200                                | 4               |
| Бутадиен              | 100                                | 4               |
| Буталакрилат          | 10.0                               | 3               |
| Винилацетат           | 0.2                                | 2               |
| Гексахлорэтан         | 0.08                               | 1               |
| Дихлорэтан            | 10.0                               | 2               |
| Метанол               | 5.0                                | 3               |
| Метатиол              | 0.8                                | 2               |
| Метилакрилат          | 5.0                                | 3               |
| Метилпропионат        | 10.0                               | 3               |
| Масляный альдегид     | 5.0                                | 3               |
| Метилметакрилат       | 0.7                                | 2               |
| Минеральное масло     | 5.0                                | 3               |
| Метилнафталин         | 20.0                               | 4               |
| Меркаптан             | 0.1                                | 1               |
| Сероуглерод           | 10.0                               | 2               |
| Сера                  | 6.0                                | 4               |
| Свинец                | 0.01                               | 1               |
| Сернистый газ         | 10.0                               | 3               |
| Нитрит натрия         | 5.0                                | 3               |
| Тетрахлорэтан         | 5.0                                | 3               |
| Трихлорэтан           | 20.0                               | 4               |

Продолжение таблицы 3.9

|                   |       |   |
|-------------------|-------|---|
| Тетрахлорметан    | 2.0   | 2 |
| Углерод оксид     | 20.0  | 4 |
| Уксусная кислота  | 5.0   | 3 |
| Фенол             | 0.3   | 2 |
| Формальдегидд     | 0.8   | 2 |
| Этанол            | 5.0   | 4 |
| Этилметакрилат    | 0.048 | 1 |
| Хлор              | 1.0   | 2 |
| Хром 3+           | 1.0   | 3 |
| Хром 6+           | 0.01  | 1 |
| Хлористый водород | 5.0   | 2 |
| Бензол            | 5.0   | 2 |

Средства защиты: коллективные средства — вентиляция, очистка воздуха; герметизация устройств, в которых ведутся производственные процессы связанные с образованием паров; механизация и автоматизация технологического процесса. Индивидуальные средства — спецодежда, средства защиты органов дыхания (респираторы), рук (перчатки), лица, глаз (защитные очки).

### 3.2.1.7 Механические опасности

К механическим опасностям относят: движущиеся механизмы и их части, передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; расположение рабочего места на значительной высоте; повышенная запыленность воздуха, стружка от обработки деталей. Слабое и ненадежное крепление инструмента (фрезы, резца, сверла) на станке может явиться причиной травм рабочего. Возможно падение заготовки/детали при установке и снятии со станка, что может привести к ушибу или перелому. Процесс резания сопровождается пылевыведением, при обработке магния. Также в процессе резания испаряется СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость), которая используется на станках.

Коллективные средства защиты реализуются при механизации и автоматизации производственных процессов; использовании роботов и манипуляторов, дистанционном управлении оборудованием; определении

размеров опасной зоны; применении ограждений, блокировок, световой и звуковой сигнализации.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ): специальная одежда, обувь, защитные каски, маски.

### **3.2.1.8 Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности заготовок**

При обработке детали на месте выхода режущего инструмента с обрабатываемой поверхности образуется заусенец и острая кромка. Размер заусенца зависит как от вязкости материала, так и от геометрии и остроты режущих кромок инструмента. Заусенцы являются потенциальными источниками травм. При контакте с заусенцами может порезать руки тот, кому придется держать деталь в руках. Это не только операторы станков, но и контролеры, мастера, транспортные рабочие, и даже технологи, которые спроектировали технологический процесс, не предусмотрев решение проблемы удаления заусенцев.

Коллективные средства защиты: обертывание детали в ингибированную бумагу.

Индивидуальные средства защиты (СИЗ): спецодежда, средства защиты рук (перчатки).

### **3.2.1.9 Электроопасность**

Безопасные номиналы:  $I < 0.1 \text{ A}$ ;  $U < 36 \text{ В}$ ;  $R_{\text{заземл}} < 4 \text{ Ом}$ .

Основными причинами воздействия тока на человека являются: случайные проникновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции, ошибочно поданное напряжение на рабочее место; отсутствие заземления, замыкание в результате аварии.

Коллективные средства защиты: оборудование рабочих мест деревянными плитами (решетками); установка устройств местной вытяжной вентиляции; защитное заземление; зануление; защитное отключение устройство, защитные ограждения; разделительные трансформаторы.

Индивидуальные средства защиты: резиновые изделия по защите; перчатки, боты или галоши; штанги для изоляции напряжения.

К техническим мероприятиям относятся: производство отключений; вывешивание плакатов и ограждение рабочего места; проверка отсутствия напряжения; наложение заземлений.

### **3.2.1.10 Пожаробезопасность**

В соответствии с «НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение цеха №2 относится к категории «В4», так как в цехе обрабатывается магний, который относится к огнеопасным веществам.

Источники пожарной опасности в помещении механического цеха:

Магний (Сильно огнеопасен в виде порошка. Вещество может спонтанно воспламениться при контакте с искрой в мелкораздробленном состоянии. В огне выделяет раздражающие или токсичные пары (или газы));  
Высокая температура: перегрев оборудования в огнеопасной атмосфере;  
Выход из строя, например короткое замыкание.

Меры по обеспечению пожарной безопасности:

Средства пожаротушения подразделяют на первичные, стационарные и передвижные (пожарный автомобили).

К первичным средствам относятся передвижные (свыше 25 л) и ручные (до 10 л) огнетушители, переносные огнегасительные установки, внутренние пожарные краны, ящики с песком, асбестовые покрывала, противопожарные щиты с набором инвентаря и др. Для быстрой локализации очагов возгорания служат ручные огнетушители.

В производственном помещении, где изготавливается деталь "Кожух гироскопа" размещено электрооборудование, находящееся под напряжением. Так же изготавливаются детали из магния. Для ликвидации возгорания применяются только порошковые огнетушители для тушения металлов (ОП-5) и углекислотные (ОУ-3) огнетушители для тушения возгораний в электроустановках.

Для быстроты оповещения о начале пожара используется система пожарной сигнализации.

Для предотвращения возникновения пожаров:

- 1) Проводятся профилактические мероприятия, инструктажи рабочих.
- 2) В каждом цехе предусмотрены меры эвакуации: запасные выходы, пожарные проходы, планы эвакуации.
- 3) Присутствуют средства пожаротушения.
- 4) В доступном месте висят инструкции по действиям при пожаре с указанием последовательности действий, а также планы эвакуации с телефонами спецслужб.
- 5) Имеется звуковая пожарная сигнализация.
- 6) Система пожарной сигнализации включается в общезаводскую/общецеховую систему пожарных извещателей кольцевого типа. Оповещение рабочих происходит через местную связь (радиосвязь).

### **3.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов**

Общие требования безопасности к оборудованию:

-материалы, конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации;

-конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих;

-конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа).

-конструкция производственного оборудования должна исключить падение при выбрасывании предметов (например, инструмента, заготовок, обработанных деталей, стружки, представляющих опасность для работающих, а также выбросов смазывающих, охлаждающих и других рабочих жидкостей);

-движущиеся части производственного оборудования, являющиеся источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование;

-конструкция зажимных, захватывающих, подъемных и загрузочных устройств или их приводов должна исключать возможность возникновения опасности при полном или частичном самопроизвольном прекращении подачи энергии, а также исключать самопроизвольное изменение состояния этих устройств при восстановлении подачи энергии;

-элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющими опасность травмирования работающих, если их наличие не определяется функциональным назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих;

-части производственного оборудования (в том числе трубопроводы гидро-, паро- и пневмосистем, предохранительные клапаны, кабели и др.),



механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания;

-конструкция производственного оборудования должна исключать самопроизвольное ослабление или разъединение сборочных единиц и деталей, а также исключать перемещение подвижных частей за пределы, предусмотренные конструкцией, если это может повлечь за собой создание опасной ситуации;

-производственное оборудование должно быть пожаро-взрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации;

-конструкция производственного оборудования и (или) его размещение должны исключать контакт его горючих частей с пожаровзрывоопасными веществами, если такой контакт может явиться причиной пожара или взрыва, а также исключать возможность соприкосновения работающего с горячими или переохлажденными частями, или нахождение в непосредственной близости от таких частей, если это может повлечь за собой травмирование, перегрев или переохлаждение работающего.

### **3.3 Экологическая безопасность**

#### **3.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Механическая обработка деталей на станках сопровождается образованием: мангалиевой стружки, отработанной смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), пыли. Пары эмульсии и пыль через вентиляционную систему поступают из помещений в атмосферу. Помимо этого имеется и промышленный мусор. Загрязнение гидросферы металлорежущими станками может произойти при чистке станков и его узлов. В охране окружающей среды важную роль играют службы контроля качества окружающей среды, которые

наблюдают за состоянием атмосферы, воды и почв для получения фактических уровней загрязнения окружающей среды.

### **3.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

Основные мероприятия по обеспечению экологической безопасности:

-совершенствование технологических процессов и разработка нового оборудования с меньшим уровнем негативного воздействия на окружающую среду;

-замена токсичных отходов на нетоксичные.

-вовлечение образовавшихся отходов во вторичное производство.

-ограничение выбросов промышленного производства с последующей утилизацией или захоронением отходов.

- разработка и внедрение малоотходных технологий.

### **3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **3.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований**

Возможные чрезвычайные ситуаций, которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации проектируемого решения:

- стихийные бедствия (землетрясения, наводнения, ураганы, снежные заносы, грозы, ливни, аномальные морозы.);

- техногенные катастрофы (аварии на энергетических, химических, биотехнологических объектах предприятия.);

- антропогенные катастрофы (ошибочные действия операторов и обслуживающего персонала.);

- социально-политические конфликты (терроризм);

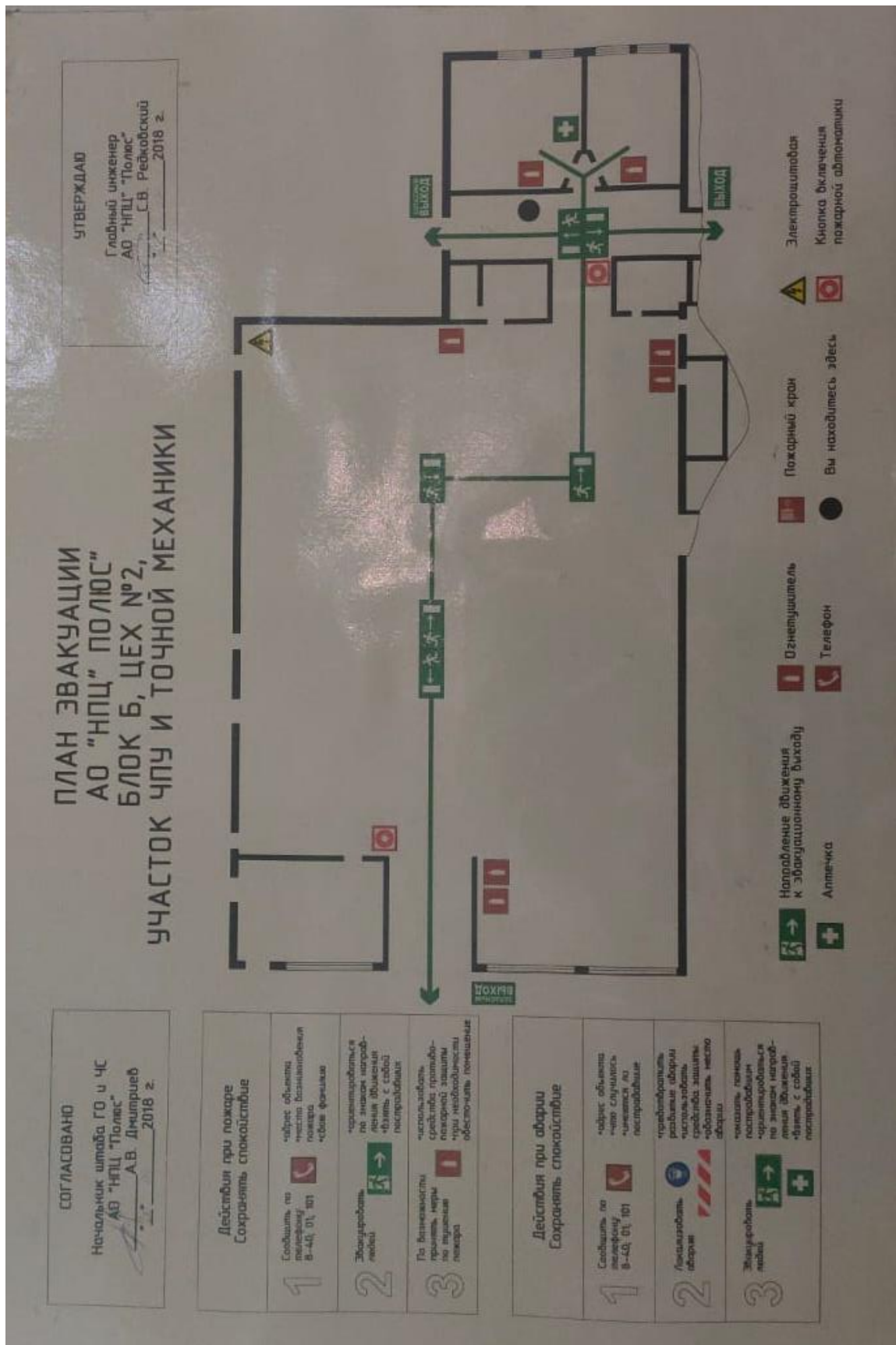
- биологические (эпидемии).

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

Рассмотрим ЧС социального характера – несанкционированное проникновение на рабочее место. Так как АО НПЦ «Полюс» является частью военно-промышленного комплекса, выполняющих разработку, производство, хранение, постановку на вооружение военной и специальной техники, амуниции, боеприпасов и т. п. преимущественно для государственных силовых структур, а также на экспорт. Мероприятиям по предотвращению данных ЧС отводится не мало времени и ресурсов.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие оборудовано системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи. Также предусмотрено исключение распространения информации о системе охраны объекта (закрытой внутренней сетью интернет и введением режима секретности), расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. На предприятии создана служба гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, способная быстро и правильно реагировать на любые возможные ЧС на предприятии.

Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.



Направление движения к эвакуационному выходу

Аптечка

Огнетушитель

Телефон

Пожарный край

Вы находитесь здесь

Электрощитовая

Кнопка включения пожарной автоматики

Рисунок 3.2 – План эвакуации механического цеха №2

Раздел «Социальная ответственность» содержит анализ вредных и опасных факторов производственной среды, рассмотрены также вопросы обеспечения экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

В этом разделе мы провели анализ вредных и опасных факторов производственной среды изготовления детали «Кожух гироскопа», мероприятия по их устранению. Установили основные требования безопасности к оборудованию цеха №2. Также рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях. Исходя из полученных данных, цех №2 соответствует всем требованиям для реализации разработанного технологического процесса.

## **Заключение**

В данной выпускной квалификационной работе была выполнена модернизация конструкции герметичного кожуха, используемого в системах ориентации космических аппаратов. Выполнен подбор материала для снижения удельного веса детали без снижения качественных показателей.

Произведена корректировка технологического процесса на этапе вытяжки герметичного кожуха, разработана технология предотвращения трещин сварного соединения кожуха с блоком УДМ.

В среде Ansys произведен анализ исходной и модернизированной конструкций герметичного кожуха, показатель внутренней нагрузки снижен на 132 МПа, показатель деформации на 1.38 мм.

В разделе финансового менеджмента и ресурсоэффективности были выполнены расчеты затрат на проектирование в соответствии с графиком выполнения проектных работ. Расчет по определению экономической эффективности дал положительный результат. Ориентировочная стоимость проекта составит 185836.7 руб. Экономическая эффективность достигается за счет использования наиболее оптимального и конкурентоспособного электрооборудования.

В разделе социальной ответственности был произведен анализ возможных вредных и опасных факторов, а также разработаны способы их устранения. Без внимания не остались чрезвычайные ситуации. Были рассмотрены наиболее вероятные ЧС, которые могут возникнуть в результате изготовления герметичного кожуха.

## Список использованных источников

1. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах. Том 1. Под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.- 4-е издание, перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986. 654 с., ил.
2. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах. Том 2. Под редакцией А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е издание, исправл.- М., Машиностроение-1, 2003. 944 с., ил.
3. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. «Машиностроение», 1973, 448 с.
4. Акулов А. И., Бельчук Г. А. и Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов. М., «Машиностроение», 1977. 432 с. с ил.
5. Китаев А. М. Дуговая сварка (В помощь рабочему-сварщику). — М.: Машиностроение, 1979. — 240 с, ил.
6. Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитных газах. Юхин Н.А. 2007. – 50с.
7. Аргонодуговая сварка TIG [Электронный ресурс] URL: [https://www.toool.ru/articles/chto\\_predstavlyaet\\_soboy\\_argonodugovaya\\_svarka\\_tig.html](https://www.toool.ru/articles/chto_predstavlyaet_soboy_argonodugovaya_svarka_tig.html) (Дата обращения 20.03.2021 г.)
8. Сварка методом TIG [Электронный ресурс] URL: <https://electrod.biz/vidy/svarka-metodom-tig.html> (Дата обращения 20.03.2021 г.)
9. Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / Сост. В.В. Ефанов, И.Л. Шевалев; под ред. В.В. Ефанова, К.М. Пичхадзе: в 2-х т. Т.1. Методологические основы проектирования автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований. Методологические основы проектирования служебных и целевых систем автоматических космических аппаратов.— М.: Изд-во МАИ, 2012. – 526 с.

10. Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / Сост. В.В. Ефанов; Под ред. В.В. Хартова, В.В. Ефанова: В 3-х т. Т.2. Проектирование научных автоматических космических аппаратов.– 2-е изд., перераб. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014. – 544 с.
11. Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / Сост. В.В. Ефанов; Под ред. В.В. Хартова, К.М. Пичхадзе: В 3-х т. Т.3. Проектирование служебных и целевых систем автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований.– М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014. – 464 с.
12. Авиационные материалы и технологии 85 лет ВИАМ (Юбилейный научно-технический сборник) / под общ. ред. Е. Н. Каблова 2017. – 595 с.
13. Каталог материалов ФГУП "ВИАМ" [Электронный ресурс] URL: <https://catalog.viam.ru/catalog/metalls/> (Дата обращения 12.04.2021 г.)
14. Scott Smith, Robert Wilhelm, Brian Dutterer, Harish Cherukuri, Gaurav Goel. Sacrificial structure preforms for thin part machining /Department of Mechanical Engineering, University of North Carolina at Charlotte, Charlotte, NC, USA 2012
15. С.С. Гаврюшин, А.Д. Жаргалова, Г.П. Лазаренко, В.И. Семисалов Метод определения условий механической обработки тонкостенных деталей // 2015 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
16. Milling P. Kersting, D. Biermann. Modeling Techniques for the Prediction of Workpiece Deflections in NC Milling P. Kersting, D. Biermann //Institute of Machining Technology, TU Dortmund, Baroper Str. 301, 44227 Dortmund, Germany 2012г
17. Вибрация в технике / под ред. В.Н. Челомея. – М.: Машиностроение, 1978. – Т. 6. – 456 с.



18. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие/ И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

19. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/ С.В. Белов, А.В. Ильицкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ.ред. С.В. Белова. 7-е изд., стер.-М.:Высш.шк., 2007. - 616 с.: ил.

20. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд- во Томского политехнического университета, 2009. — 101 с.

21. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» ВКР магистра и специалиста всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ/Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – 24 с.

22. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.05.2021) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - № 1 (ч. 1). - Ст. 3.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

### Literaryreview

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 4АМ92  | Петрушов Владимир Сергеевич |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Коротков В.С. | к.т.н.                    |         |      |

Консультант

| Должность             | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Цыганков Р.С. |                           |         |      |

По разделу «Иностранный язык»

| Должность             | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Михайлова О.В. |                           |         |      |

## **1.1 Literary review**

### **1.1.1 General characteristics of the FCM block**

At present, control flywheel motors (FCM) are mainly used as electromechanical actuators for orientation and stabilization systems of various domestic and foreign spacecraft (SC), less often - power gyroscopes.

The main tasks of the FCM are the implementation of high-precision angular stabilization and control of the spacecraft orientation in space by means of the formation of dynamic and kinetic moments along the stabilization axes.

Most of the FCM designs are equipped with a sealed chamber, which serves not only to reduce the aerodynamic component of the moment of resistance to rotor rotation, but also provides comfortable operating conditions for ball bearing supports, which increases both their reliability and their service life. An analysis of the characteristics of modern FCM of domestic and foreign production, as well as the requirements for them by customers, allows us to highlight the following main directions of development of FCM:

- decrease in weight and size characteristics
- increase in active life
- expansion of the field of application both due to the intensified development of the class of small-sized spacecraft, and due to wider use on heavy-class vehicles
- improving the accuracy of the output characteristics
- reduction of disturbances
- Intellectualization of functions.

These requirements are common for all spacecraft onboard equipment and are achieved by using lighter materials and modern electrical radio products with a long shelf life. In addition, weight reduction is achieved by switching to a monoblock design, in which the electronics boards are located on the basis of the FCM. The monoblock design provides a smaller volume occupied by the FCM on

the spacecraft, and makes it possible to place it in various places of the container without the power cables.

In addition, the placement of the electronics boards in the power case of the FCM provides additional protection against radiation.

The casing of the FCM hull carries a protective function against external mechanical loads during space flights (high temperature and pressure, vibration loads during the launching phase, low temperatures of outer space, deep vacuum, radiation exposure, microparticles, etc.) for the smooth functioning of attitude control systems and stabilization of the spacecraft.

The casing is hermetically attached to the FCM casing using TIG argon arc welding.

### **1.1.2 General characteristics of TIG welding**

TIG welding is widely used in various industries: aircraft, mechanical engineering, stainless steel equipment, tool making, etc.

TIG welding is called a universal process, since it can be used to weld any metals without restriction, even heterogeneous and with different thicknesses. Let's understand the concept of argon arc welding - what it is and how this method works. When current is applied, an arc is formed between the refractory electrode and the working surface of the metal. At the same time, argon is fed through the burner nozzle, which blocks the access of air. Thus, a minimum of metal suspension in the air remains, and there is practically no probability of slag entering the weld seam. That is, argon protects the arc and electrodes, and the output is a perfect seam. TIG (Tungsten Inert Gas) argon arc welding allows you to use two methods of forming joints: from the edges of the metal melted under the action of the arc or using a special filler wire.

The advantages of TIG welding:

- Excellent seam quality - the metal joins neatly and looks aesthetically pleasing.

- Ability to bond a variety of metals (eg titanium and stainless steel), including those with worn surfaces.
- Lack of slag during welding - immediately the seam is formed even, requiring no additional cleaning.
- Minimization of metal suspensions and airborne spatter. This circumstance allows you to carry out work in any room without fear of damaging the floor or walls.
- When welding, only a small area of the metal base is heated, which makes it possible to maintain the overall shape of the product.
- Sufficiently high speed of work due to the high thermal power of the arc.
- Reliability and high quality of the connection guarantees a long service life.
- From the point of view of technological methods, welding is not difficult, so the use of TIG machines is becoming generally available.

Among the disadvantages of TIG welding is the imperfect quality of work if there is a draft or strong wind, since some of the gas can be sprayed.

The need for initial preparation before welding can also be challenging.

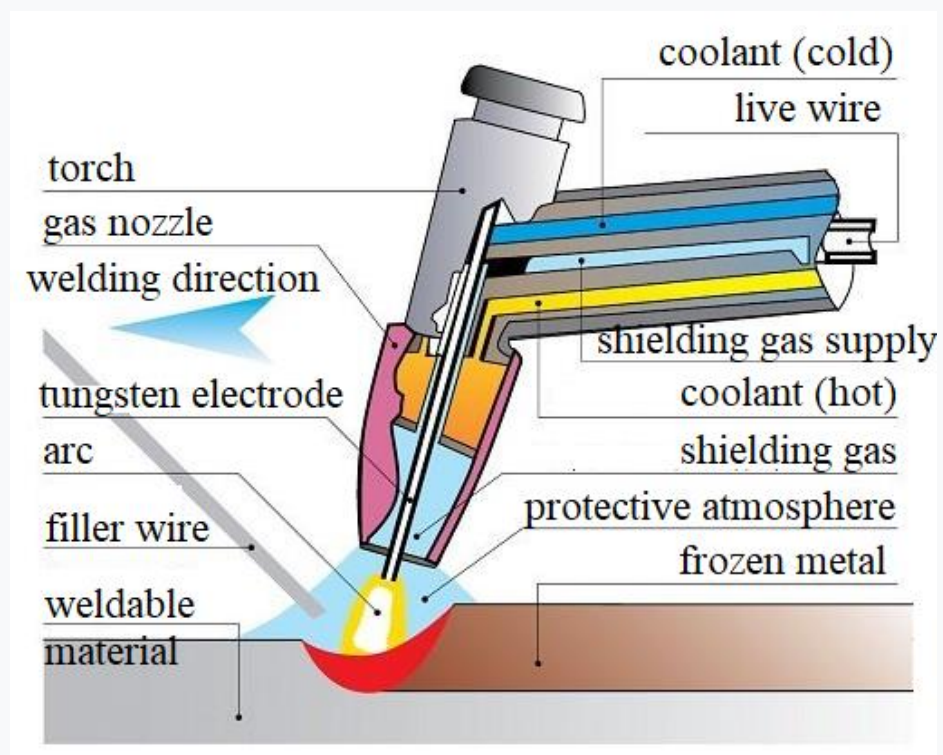


Figure 1.1 Principle of TIG welding.

### 1.1.3 Influence of the contour shape on the stiffness of thin-walled parts

To assess the stiffness of thin-walled parts, let us consider the possible variants of their loading and the deformation resulting from each of the loading variants. All of them can be reduced to the following schemes:

- 1) bending in two planes from the acting load, (Figure 1.2, a, b)
- 2) bending from the action of concentrated forces acting in the diagonal plane (Figure 1.2, c).

It can be represented (expanded) as a geometric sum of bends about the y-axis and x-axis, i.e.

$$M_0 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2};$$

- 3) Torsion due to the action of concentrated differently directed forces, applied at opposite corners of the diagonal and generating a torque moment  $M_{cr}$  (Figure 1.2, d), twisting the road sign.

Thus, to assess the stiffness of the sign, it is necessary to consider special cases of its calculation under bending by the moment  $M_x$ ; when bending by the moment  $M_y$ ; with torsion moment  $M_{cr}$ .

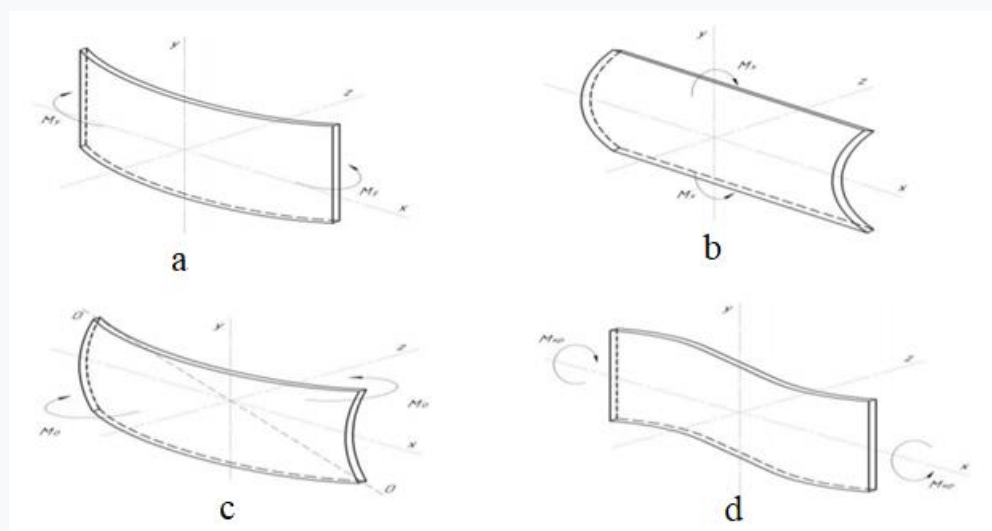


Fig.1.2 Deformations of a rectangular-shaped part from the impact of bending and torque moments: a - bending by the moment  $M_y$ ; b - bending by the moment  $M_x$ ; c - bending by the moment  $M_0$ ; d - torsion moment  $M_{cr}$ .

The rigidity of any structure depends on the material from which it is made and the dimensions of the cross section. Depending on the type of load, the following are distinguished: bending stiffness  $E \cdot I_x$ ; torsional rigidity  $G \cdot I_p$ .

Here  $E$  and  $G$  are the moduli of elasticity of the material of the structure;  $I_x$  - axial moment of inertia of the cross-sectional area of the structure (the axis index depends on which axes we draw in the section);  $I_p$  - is the polar moment of inertia of the cross-sectional area.

Let's take that the material of the thin-walled parts under consideration is the same, so we can leave it out of the calculation formulas, and comparison will be made in terms of the geometric characteristics of stiffness, i.e. axial and polar moments of inertia.

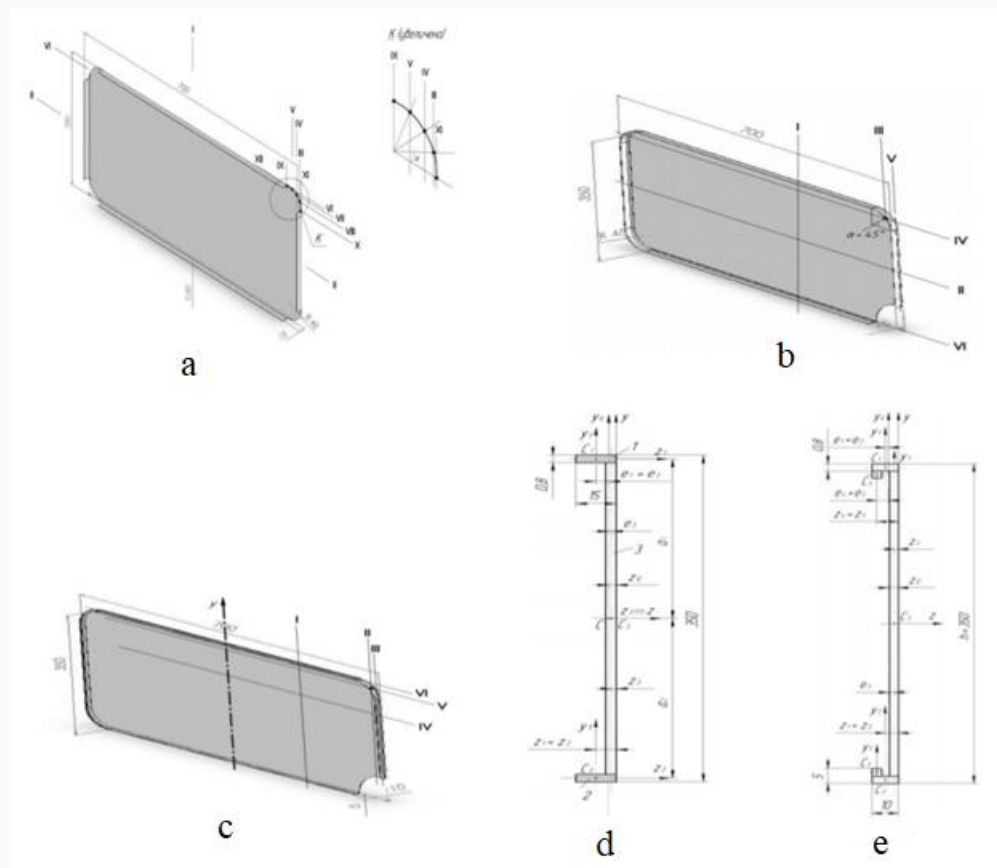


Fig.1.3 Detail of a rectangular shape with a different design of the contour: a - with a single flange and cut corners; b - with a single flange around the entire perimeter of the part; c - with double flanging along the entire perimeter of the part;

d - section of a part with a single flange; e - cross-section of a part with double flanging.

The calculation and comparison of the stiffness characteristics is carried out for three modifications of a thin-walled rectangular part: with a single flange and carved corners (Figure 1.3, a); with a single flange around the entire perimeter (Figure 1.3, b); with double flanging along the entire perimeter (Figure 1.3, c). Rigidity was assessed for characteristic sections I ... XII (Figure 1.3, a, b, c), in which the stiffness changes in magnitude. The section view is shown in Fig. 1.3, d, e. The main geometric characteristic of bending stiffness is the moment of inertia of the section relative to the main axes of the section, for example, the z axis.

$$I_{z_i} = I_{z_1} + a_1^2 A_1 + I_{z_2} + a_2^2 A_2 + I_{z_3} + a_3^2 A_3 = 2(I_{z_1} + a_1^2 A_1) + I_{z_3}.$$

The torsion of these sections corresponds to the torsion pattern of thin-walled open profile beams. For open profiles made up of several narrow rectangles of the same thickness, the value of the geometric characteristic of torsional rigidity can be determined by the formula:

$$I_p = \frac{b^3 \sum h_i}{3},$$

where b is the profile thickness, b = 0.8 mm; h<sub>i</sub> - the height of each (i-th) rectangle when unfolding the profile in one line. The calculation is carried out along the middle line (shown by the dash-dotted line). Further, a study was made of the influence of the shape of the thinnest part on its rigidity, i.e. calculation and comparison of the stiffness of parts of four shapes: rectangular, square, triangular and round. It should be noted that the shape of the two latter parts has a variable cross-sectional height, i.e. the law of section variation meets the requirements of structures of equal resistance.

An analysis of the comparison of bending and torsional stiffnesses of thin-walled rectangular parts with three variants of the part contour revealed:



- 1) the torsional stiffness is 45 times lower than the bending stiffness, therefore, torsional deformations will prevail in thin-walled parts;
- 2) the presence of cutouts in the corners of the contour reduces the bending rigidity of the part by more than 100 times, and the torsional rigidity by up to 30% compared to a single flanging along the entire perimeter of the part;
- 3) performing a single flanging along the entire perimeter eliminates the above disadvantage and helps to equalize the rigidity along the entire contour;
- 4) the presence of double flanging compared to a single flanging along the entire perimeter increases the bending stiffness of the part contour by 8.2 times compared to a single flanging along the entire perimeter and 256 times compared to the rigidity of a part with cut corners;
- 5) the presence of a double flanging increases the torsional rigidity in comparison with a single flanging along the entire perimeter from 2.0 to 2.2 times, and in comparison with the rigidity of a part with cut corners from 2.2 to 2.4 times.

#### **1.1.4 Ways to increase the rigidity of structures**

The rigidity of the structure is indirectly affected by the strength of the material. All other things being equal, deformations are proportional to the stresses. But, as a rule, the stresses are considered to be proportional to the strength of the material; permissible stresses are the ratio of the ultimate strength (or yield strength) to the strength factor. Consequently, the higher the strength of the material, the greater the permissible stresses and, other things being equal, the greater the deformation of the system. On the contrary, the lower the safety factor and the closer the stresses acting in the system to the ultimate strength, the greater the deformation and the lower the rigidity of the system.

The easiest way to reduce deformations is to reduce the stress level. However, this path is irrational, since it is associated with an increase in the mass of

the structure. Therefore, the main practical means of increasing rigidity is to maneuver the geometric parameters of the system.

The stiffness is strongly influenced by the size and shape of the sections. In this case, the influence of the linear dimensions of the part is small for the case of tension-compression (stiffness is inversely proportional to the first power of length) and is very noticeable in bending (rigidity is inversely proportional to the third power of length).

The main constructive methods for increasing rigidity include the following:

- comprehensive elimination of the bend, its replacement by stretching or compression;
- for parts working in bending - expedient placement of supports, exclusion of types of loading unfavorable in terms of rigidity;
- rational, not accompanied by an increase in mass, an increase in the moments of inertia of sections;
- rational reinforcement with ribs working preferably in compression;
- strengthening of sealing areas and areas of transition from one section to another;
- blocking deformations by introducing transverse and diagonal ties;
- attraction of rigidity of adjacent parts;
- for box-type parts - the use of shell, vaulted, spherical, ovoid and similar forms;
- for parts such as discs - the use of conical, cup, spherical shapes.

### **1.1.5 Selecting a CAD system**

All programs based on the finite element method can be conveniently divided into two groups. The first group includes rather complex and expensive software systems with great capabilities. Such programs have proved to provide high accuracy of their research in various industries. The second group of programs is developed as particular solutions for specialized tasks in the required research area;

this indicates the desire of developers to create a simpler and more compact tool for work.

Programs such as ANSYS, ABAQUS, COSMOS are heavy foreign software systems that are widely used in mechanical engineering, aerospace and power engineering. For calculations in civil, industrial and transport construction in our country, specialized packages developed in the CIS countries are common, such as SCAD Office, Lira, Robot and others.

Among the above software systems, the ANSYS program is the most widespread today.

ANSYS is a software package based on the finite element method and designed for automated engineering analysis in many branches of technology (construction, mechanical engineering, transport, aviation, astronautics), as well as in such areas as fluid and gas mechanics, mechanics, deformable solids, heat transfer and electromagnetism. This program sets a list of calculation tools that take into account various design nonlinearities, make it possible to solve the general case of a contact problem for surfaces, can allow the formation of finite deformations and angles of rotation, and also enable to analyze the effect of electromagnetic fields and solve the problem of hydro aerodynamics, and many more. ANSYS is a means by which a CAD model of a structure, product or its component is created or developed.

#### **1.1.6 The choice of research methods and increasing the rigidity of thin-walled parts in the ANSYS environment**

The CAD modeling process includes certain stages, which include: building a geometric model, choosing a type of finite elements, building a finite element mesh, setting material properties, choosing an analysis type, applying loads, setting boundary conditions, calculating and analyzing results.

ANSYS is a means by which a CAD model of a structure, product or its component is created or developed. The CAD modeling process has certain stages, which include: building a geometric model, choosing a type of finite elements,

building a finite element mesh, setting material properties, choosing an analysis type, applying loads, setting boundary conditions, calculating and analyzing results.

There are two ways of geometric modeling when creating a CAD model:

- 1) top-down modeling;
- 2) bottom-up modeling.

Top-down modeling is based on designing an object from ready-made simple shapes, for example, a parallelepiped, a ball, and the like, using common operations like addition, subtraction and others. The modeling process itself is based on an ascending geometric hierarchy of objects.

After building a geometric (solid, continuous) model of an object, you need to create its finite element (discrete) model. This means that a grid of nodes and elements is applied to the area of space occupied by the object, which consists of relatively simple shapes and divides this area into finite elements, which in turn are connected to each other at some points (nodes). The elements share common anchor points and collectively approximate the shape of the region. An arbitrary mesh in the ANSYS system can be built from triangular and quadrangular planar elements, as well as tetrahedrons - tetrahedral volumetric elements. In addition, the program contains an algorithm for the rational choice of the size of the finite element, which allows you to build a mesh of elements taking into account the curvature of the model surface and a high display of its real geometry. In addition, you can select the size of the mesh itself, the total size of the finite element, the number of divisions of the boundary line, the coefficients of stretching or compression at the boundaries and at distance from the boundaries. This kind of meshing is one of the main steps in finite element analysis.

In order to start generating a mesh in the ANSYS system, it is necessary to perform a number of specific actions: specify the types of elements that will be applied in the finite element model; set the constants of the elements, specific for this type of element, and also you need to set the properties of the materials of which the given model will consist. After the construction of the computational model, the

stage of solving the problem begins, which includes setting the loading and its step, the type of analysis and launching the model for calculation.

Loading includes the application of internal and external forces, as well as boundary conditions in the form of displacement constraints. The program identifies the following load categories: concentrated forces and moments of forces, surface loads, volumetric forces, inertial loads and restrictions on the degrees of freedom. Most of the loads can be applied at key points, along lines and surfaces (to a solid model), or at nodes or elements (to a finite element model).

The calculation of the model is started after entering all the required parameters, the results of which are recorded in the database and represent both graphical and tabular derivation of values.

We will build a methodology for a complete analysis:

1. Set the type of analysis (Static, modal, etc.).
2. Set the model type (part or assembly).
3. We set the elements in the model (solids or surfaces).
4. We optimize the system (for example, if the part is symmetrical, then you can simply cut off half and attach it to the place where the reaction is cut off, etc.).

We carry out preliminary processing (Preprocessing):

1. Select the required analysis system.
2. Select the required material, set its characteristics.
3. Attach geometry.
4. Generate the desired mesh.
5. Apply strength and reinforcement.
6. Set the required analysis results.

We make the calculation and get the data.

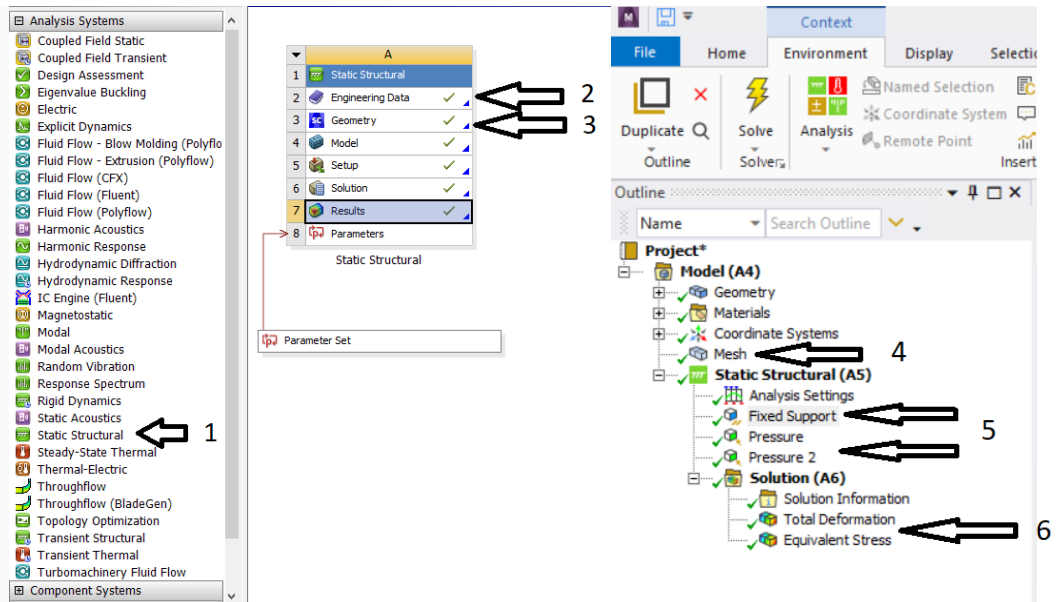


Figure 1.4 Schematic representation of pre-processing.

Fig.1.5 Schematic representation of fastening and acting forces on the “casing” of the FCM unit:

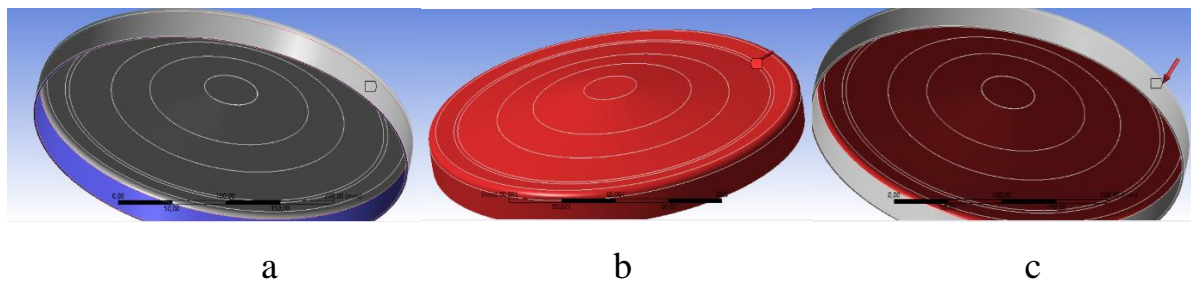


Fig.1.5 Schematic representation of fastening and acting forces on the “casing” of the FCM unit: a - fixed surfaces; b - distributed load on the outer surface - 0.157 MPa; c - distributed load on the inner surface -  $1.33 \cdot 10^{-5}$  MPa.

Analyzed the influence of the shape of the contour on the rigidity of thin-walled parts, we modernize the design of the sealed casing. Eliminate all-round bends and apply a spherical shape.