

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

ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Специальность 151001 «Технология машиностроения»  
Кафедра «Технология машиностроения»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**на соискание квалификации «инженер»**

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ГЕОХОДА

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10300	Солдатова Анастасия Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.В. Вальтер	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Д.Н. Нестерук			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	В.А. Портола	д.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.А. Ласуков	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.А. Моховиков	к.т.н.		

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

ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Специальность 151001 «Технология машиностроения»  
Кафедра «Технология машиностроения»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
А.А. Моховиков  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
10300	Солдатова Анастасия Андреевна

Тема работы:

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ГЕОХОДА	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.01.2016 №30/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2016 г.
------------------------------------------	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: оболочки корпусов геохода « Модель 401», внешний корпус ФЮРА.612322.401.3.02.00.000.2, чертёж детали, годовая программа выпуска 32 шт. Материалы: 09Г2С, 14ХГ2САФД.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обзор литературы</li><li>2. Объекты и методы исследования</li><li>3. Расчет и аналитика</li><li>4. Результаты исследования</li><li>5. Финансовый менеджмент</li><li>6. Социальная ответственность</li></ol>

<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>ФЮРА.300090.001 Корпуса вращения геохода          ФЮРА.300090.002 Структурная схема          ФЮРА.300090.003 Внешний корпус          ФЮРА.300090.004 Математическая модель          ФЮРА.300090.005 Исследование математической модели          ФЮРА.300090.006 Диаграммы к определению расстояния между опорами          ФЮРА.300090.007 Методика экспериментальных исследований          ФЮРА.300090.008 Обработка результатов экспериментального исследования          ФЮРА.300090.009 Обработка результатов экспериментального исследования          ФЮРА.300090.010 Результаты расчета корреляции          ФЮРА.300090.011 Карты наладок</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Ассистент Д.Н. Нестерук</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Д.т.н., В.А. Портола</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Реферат</p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.В. Вальтер	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10300	Солдатова Анастасия Андреевна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 105 страниц, 34 рисунков, 21 таблиц, 37 источника, 3 приложения, 12 листов графического материала.

Ключевые слова: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ДЕТАЛЬ, ЗАГОТОВКА, РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ, ОТКЛОНЕНИЯ, КОРРЕЛЯЦИЯ, БАЗА, БАЗИРОВАНИЕ, ПРИПУСК.

Тема ВКР: Исследование геометрической точности оболочек опытного образца геохода.

Аналитическая часть содержит назначение изделия, расчет годовой производственной программы выпуска изделия, определения типа производства, анализ конструкции изделия на технологичность.

Технологическая часть включает выбор заготовки и метода ее получения, выбор баз, разработку маршрута технологического процесса, выбор оборудования и средств технологического оснащения, расчет припусков на обработку, расчет режимов резания, нормирование технологического процесса.

Конструкторская часть содержит описание приспособления для закрепления изделия на станке.

Организационная часть включает расчет технико-экономических показателей и расчет числа рабочих.

Раздел «Социальная ответственность» посвящен вопросам безопасной работы на участке, пожарной безопасности и экологии.

В экономической части рассчитана себестоимость изготовления детали.

Текстовая часть дипломной работы выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, графический материал с помощью программы КОМПАС-3D V15. Работа представлена на CD-R диске (в конверте на обороте обложки).

## ABSTRACT

Final qualifying work consists of 105 pages, 34 figures, 21 tables, 37 source, 3 applications, 12 sheets of graphic material.

Key words: TECHNOLOGICAL PROCESS, PART, WORKPIECE, CUTTING tools, TECHNOLOGICAL EQUIPMENT, DEVIATION, CORRELATION, BASE, BASING, ALLOWANCE.

The theme of master's dissertation: a Study of the geometric accuracy of the shells of the prototype geocode.

The analytical part contains the purpose of the product, the calculation of the annual production program of release of the product, determine the type of production, analysis of product design for manufacturability.

Technological part includes the selection of the workpiece and the method of its receipt, the choice of bases, the development route of technological process, choice of equipment and technological equipment, the calculation of allowances for processing, calculation of cutting data normalization process.

Design part contains a description of the fixtures to secure the product on the machine.

The organizational part includes the calculation of technical and economic parameters and calculating the number of workers. Section "Social responsibility" is focused on safe work at the site, fire safety and ecology.

In the economic part of the total cost of manufacturing the part. The text portion of the thesis is executed in a text editor Microsoft Word 2010 graphic materials using software KOMPAS-3D V15. The work presented on a CD-R disc (in an envelope on the back cover).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение		10
1	Обзор литературы		11
1.1	Технологии изготовления систем и узлов геохода:	требования, опыт производства и специфика	12
1.2	Крупногабаритные корпуса вращения геохода		17
1.3	Варианты реализации технологий обеспечения	точности оболочек корпусов геохода	19
1.4	Известные модели формирования погрешностей	оболочек крупногабаритных сегментных изделий	21
1.5	Выводы по обзору литературы		25
2	Объекты и методы исследования.		26
2.1	Объект и методика теоретических исследований		27
2.2	Объекты и методика экспериментальных исследований		28
3	Расчет и аналитика		36
3.1	Технологическая часть		37
3.1.1	Служебное назначение и технические характеристики	изделия	37
3.1.2	Производственная программа выпуска детали.	Определение типа производства.	38
3.1.3	Анализ технологичности объекта производства		39
3.1.4	Выбор заготовки и метода ее изготовления		40
3.1.5	Составление технологического маршрута обработки		43
3.1.6	Выбор баз		45
3.1.7	Выбор средств технологического оснащения		46
3.1.8	Расчет припусков		48
3.1.9	Расчет режимов резания		52
3.2	Конструкторская часть		54
3.3	Организационная часть		58
3.3.1	Нормирование		58
3.3.2	Расчет потребного количества оборудования и	коэффициентов его загрузки	60
4	Результаты проведенного исследования		61
4.1	Определение расстояния между опорами, которое	будет обеспечивать наибольшую точность при сборке	61

					ФЮРА.300090.000 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование геометрической точности оболочек опытного образца геохода	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Солдатова						6	105
Провер.	Вальтер					ЮТИ ТПУ Группа 10300		
Н. Контр.	Ласуков							
Утверд.	Моховиков							

4.2	Обработка результатов экспериментального исследования	64
4.3	Определение расстояния между опорами, которое будет обеспечивать наибольшую точность при сборке	68
4.4	Расчет корреляции	71
4.4.1	Расчет корреляции корпуса стабилизирующей секции	72
4.4.2	Расчет корреляции корпуса модуля сопряжения	73
4.5	Выводы по результатам исследования	74
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, и ресурсосбережение	76
5.1	Расчет объема капитальных вложений	76
5.1.1	Стоимость технологического оборудования	76
5.1.2	Стоимость вспомогательного оборудования	76
5.1.3	Стоимость инструментов, приспособлений и инвентаря	78
5.1.4	Стоимость эксплуатируемых помещений	78
5.1.5	Стоимость оборотных средств	78
5.1.6	Оборотные средства в незавершенном производстве	78
5.1.7	Оборотные средства в запасах готовой продукции	79
5.1.8	Оборотные средства в дебиторской задолженности	79
5.1.9	Денежные оборотные средства	80
5.1.10	Сумма капитальных вложений	80
5.2	Определение сметы затрат на производство и реализацию продукции	80
5.2.1	Основные материалы за вычетом реализуемых отходов	80
5.2.2	Расчет заработной платы производственных рабочих	80
5.2.3	Отчисления на социальные нужды по заработной плате основных производственных рабочих	81
5.2.4	Расчет амортизации основных фондов	81
5.2.5	Отчисления в ремонтный фонд	82
5.2.6	Затраты на вспомогательные материалы на содержание оборудования	82
5.2.7	Затраты на силовую энергию	82
5.2.8	Затраты на инструменты, приспособления и инвентарь	83
5.2.9	Расчет заработной платы вспомогательных рабочих	83
5.2.10	Заработная плата административно – управленческого персонала	84
5.2.11	Прочие расходы	84
5.3	Экономическое обоснование технологического проекта	85
5.4	Оценка экономической эффективности приспособления	85
6	Социальная ответственность	87
6.1	Характеристика объекта исследования	88
6.2	Обеспечение требуемого освещения на рабочем месте	88

6.3	Разработка методов защиты от вредных и опасных факторов	91
6.4	Разработка мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций	94
6.5	Обеспечение экономической безопасности и охраны окружающей среды	95
	Заключение	96
	Список использованных источников	97
	Приложения	101

Приложение А. ФЮРА.300090.000 СБ Спецификация на сборочный чертеж

Приложение Б. ФЮРА.300090.000 Комплект документов на сквозной технологический процесс

Приложение С. ФЮРА.300090.012 Приспособление

Диск CD – R в конверте на обороте обложки	В конверте на обороте обложки
ФЮРА.300090.001 Корпуса вращения геохода.cdw в формате Компас – 3D v15	
ФЮРА.300090.002 Структурная схема.cdw в формате Компас – 3D v15	
ФЮРА.300090.003 Внешний корпус.cdw в формате Компас – 3D v15	
ФЮРА.300090.004 Математическая модель.cdw в формате Компас – 3D v15	
ФЮРА.300090.005 Исследования математической модели.cdw в формате Компас – 3D v15	
ФЮРА.300090.006 Диаграммы к определению расстояния между опорами.cdw в формате Компас – 3D v15	
ФЮРА.300090.007 Методика экспериментальных исследований.cdw в формате Компас – 3D v15	
ФЮРА.300090.008 Обработка результатов экспериментального исследования.cdw в формате Компас – 3D v13	
ФЮРА.300090.009 Обработка результатов экспериментального исследования.cdw в формате Компас – 3D v13	
ФЮРА.300090.010 Результаты расчета корреляции.cdw в формате Компас – 3D v13	
ФЮРА.300090.011 Карты наладок.cdw в формате Компас – 3D v13	
ФЮРА.300090.000 ПЗ Пояснительная записка. Файл Пояснительная записка ФЮРА.300090.000 ПЗ.doc в формате microsoft word.	



Графический материал:

На отдельных  
листах

ФЮРА.300090.001 Корпуса вращения геохода

ФЮРА.300090.002 Структурная схема

ФЮРА.300090.003 Внешний корпус

ФЮРА.300090.004 Математическая модель

ФЮРА.300090.005 Исследования математической  
модели

ФЮРА.300090.006 Диаграммы к определению  
расстояния между опорами

ФЮРА.300090.007 Методика экспериментальных  
исследований

ФЮРА.300090.008 Обработка результатов  
экспериментального исследования

ФЮРА.300090.009 Обработка результатов  
экспериментального исследования

ФЮРА.300090.010 Результаты расчета корреляции

ФЮРА.300090.011 Карты наладок

					ФЮРА.300090.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		9

## ВВЕДЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается исследование геометрической точности оболочек опытного образца геохода.

Целью данной выпускной квалификационной работы является анализ геометрических отклонений корпусов геохода и обоснование полученных результатов.

Задачами данной выпускной квалификационной работы является:

- обеспечение геометрической точности оболочек;
- обеспечение гарантированной собираемости секторов;
- установление экономической точности основных элементов конструкции корпусов;
- назначение обоснованных припусков на обрабатываемые поверхности;
- произвести исследование модели.

В данной выпускной квалификационной работе требуется создать техпроцесс изготовления корпуса внешнего ФЮРА.300090.000.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Студент гр. 10300

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А.А.Солдатова

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Руководитель  
К.т.н, доцент

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А. В. Вальтер

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Нормоконтроль  
к. т. н., доцент кафедры ТМС

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А. А. Ласуков

\_\_\_\_\_  
(Дата)

## 1.1 Технологии изготовления систем и узлов геохода: требования, опыт производства и специфика

Постановка продукции на производство включает своим неотъемлемым этапом подготовку производства [1], содержащую разработку технологических процессов. Основой для формулирования задач разработки технологических процессов является общая цель технологии машиностроения как научной дисциплины [2]: изготовление продукции требуемого качества с установленной производительностью при минимальных затратах труда и ресурсов.

Исходя из выше указанного и учитывая опытный характер производства, сформулированы следующие задачи разработки технологических процессов изготовления систем и узлов геохода:

- обеспечить выпуск продукции с качественными показателями, соответствующими требованиям, установленным в конструкторской документации;
- обеспечить минимальные затраты времени и ресурсов на подготовку производства;
- обеспечить минимальные затраты времени и ресурсов на производство изделий и машины в целом.

Варианты технологии изготовления систем геохода следует оценивать в соответствии с требованиями, которые можно разделить на две группы: общие требования к вариантам технологий и требования по соответствию опытному производству.

Общие требования к вариантам технологий:

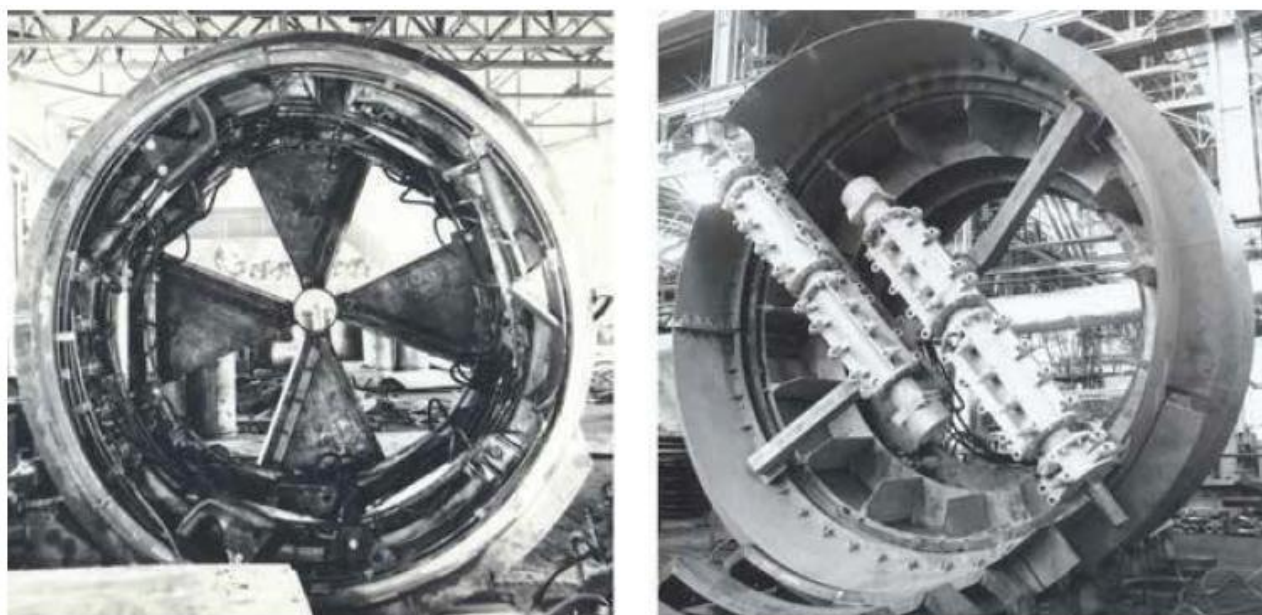
- обеспечение установленного качества продукции без применения приемов и операций, не предусмотренных технологическими процессами;
- способность к достижению минимальных затрат;
- наличие предпосылок к автоматизации технологических процессов;
- наличие предпосылок к внутри- и межотраслевой кооперации.

Требования по соответствию вариантов опытному производству:

- возможность исправления брака, полученных на ранних этапах изготовления, на этапах общей сборки и приемки;
- минимальные потребности в специфичном технологическом оборудовании и оснастке;
- концентрация технологических переходов;
- возможность контроля выполнения установленных требований к качеству продукции в процессе реализации технологических процессов.

Первый опыт по изготовлению геохода относится к 80-м годам. Совместно с работниками шахты «Карагайлинская» ПО «Киселевскуголь» был изготовлен первый опытный образец ЭЛАНГ– 3, а позднее на АП «ЭЛСИБ» (г.Новосибирск) был разработан второй образец ЭЛАНГ– 4 (рисунок 1) [3; 4]. Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в данной области показали необходимость

постановки на производство новых, более совершенных образцов гехода. В разработке нового опытного образца появилась необходимость исследования геометрической точности оболочки внешнего корпуса для достижения наиболее точного ее изготовления.



*Рисунок 1.1 Экспериментальный образец ЭЛАНГ-4*

Специфика технологии изготовления машины обусловлена следующими общими факторами:

- конструктивными особенностями машина;
- особенностями эксплуатации и ввода машины в эксплуатацию;
- факторами производственной среды;
- экономическими факторами.

На основе изученной литературы, технической документации на экспериментальные образцы геходов, а так же в ходе обработки вопросов технологии изготовления гехода ФЮРА.612322,401,0,00,00,000 на этапе эскизного проекта были выделены наиболее важные факторы, обуславливающие специфику гехода как объекта производства.

На основе изучения литературы, технической документации на экспериментальные образцы геходов, а также в ходе проработки вопросов технологии изготовления гехода модели 401 на этапе эскизного проекта были наиболее важные факторы, обуславливающие специфику гехода как объекта производства. К конструктивным особенностям, особенностям эксплуатации и ввода машины в эксплуатацию, отличающим геход от других видов горнопроходческой техники и обуславливающим специфику технологии его изготовления, следует отнести следующее:

- геход это единственный вид горнопроходческой техники, к которому предъявляются требования сокращения массы [5]. Это связано с тем, что создание движителем тягового усилия определяется не массой машины, а за

счет нормальных реакций, возникающих при взаимодействии движителя с окружающим массивом пород;

- корпус геолохода (головная, хвостовая секции) является не только базовым несущим изделием, он взаимодействует всей наружной поверхностью с геосредой [6]. В других видах горнопроходческой техники корпусные изделия также являются базовыми несущими изделиями, однако большинство их (за исключением основных и вспомогательных баз) не являются рабочими. Контакт наружной поверхности корпуса геолохода с геосредой накладывает специфичное обеспечение геометрической точности оболочки корпуса;

- корпус геолохода как крупногабаритное изделие должен быть разборным с целью обеспечения возможности геолохода, монтажа и демонтажа аппарата в горной выработке [7];

- внешний движитель является изделием сложной пространственной формы, взаимодействующим с геосредой в условиях жесткого абразивного и усталостного изнашивания [8]. К внешнему движителю как элементу конструкции, передающему тяговое усилие на окружающий горный массив, предъявляются требования по точности формы и расположения. Нарушение данных требований может привести к разрушению опорной части окружающего массива вследствие неравномерности усилий на поверхности целика, к неравномерности усилий на трансмиссии геолохода, увеличению сопротивления движению, потере возможности управления геолоходом по трассе и к интенсивному износу поверхностей самого движителя;

- в процессе эксплуатации геолоход контактирует с геосредой при значительных контактных нагрузках и экстремальных условиях изнашивания (оболочка головной секции и движитель в процессе эксплуатации совершают большой путь трения, кратно превосходящий расстояние по траектории выработки). При этом кардинальным отличием от прочих видов горнопроходческой техники является то, что постоянному изнашиванию от контакта с геосредой подвергаются не отдельные элементы машины (например движителя) а вся наружная поверхность аппарата;

- должны быть обеспечены свободный монтаж и демонтаж геолохода в стесненных условиях горной выработки. Монтаж и демонтаж могут одновременно производить лишь очень ограниченное число рабочих, затруднено применение крупных средств технологического оснащения, в том числе и средств механизации. При демонтаже геолохода отсутствует возможность вывода снимаемых составных частей наружу относительно машины.

*Факторы, обуславливающие специфику технологии*

*Специфика геоходов как объектов производства*



Рисунок 1.2 Специфика геохода [9]

К особенностям геохода, которые характерны и для других горных машин, но в сочетании с другими особенностями формируют специфику технологии его изготовления, следует отнести то, что геоход является крупногабаритным изделием; аппарат монтируют в единое целое на месте эксплуатации [10].

Перечисленные выше особенности и их сочетания обуславливают специфику геоходов как предметов производства (рисунок 2), выделяя их в данном плане среди прочих видов горных машин.

Выделяют следующие технологические особенности геоходов [9]:

- технология изготовления геохода должна обеспечивать гарантированную собираемость при монтаже в стесненных условиях горной выработки: недопустимы поводки составных частей, даже если они могут быть ликвидированы при сборке; недопустимо обеспечение точности пригонкой при монтаже. Данная особенность будет накладывать серьезные

ограничения на перечень вариантов изготовления корпуса гехода. Как частный пример можно привести следующее: нельзя производить окончательную сварку корпуса после предварительной сборки секторов, поскольку возникающие остаточные напряжения при разборке приведут к деформации корпуса и затруднят или сделают невозможным его монтаж в горной выработке. Подобная проблема не возникает при производстве других горных машин, поскольку отсутствие требований по ограничению массы позволяет выполнять корпусные изделия жесткими и не склонными к короблению;

- технология изготовления гехода должна обеспечивать геометрическую точность протяженных поверхностей крупногабаритных изделий при ограниченном использовании операций механической обработки. В горном машиностроении не возникает задачи обеспечения точности всех поверхностей машины, обращенных к горной выработке. Другими словами, точность в таких машинах должна обеспечиваться на локальных рабочих участках поверхностей. В геходе же оболочка, движитель, элементы являются элементами взаимодействия с геосредой, и их геометрия непосредственно влияет на эксплуатационные свойства машины. С учетом значительных габаритов и недопустимо высокой трудоемкости механической обработки возникает серьезная и нерешенная проблема обеспечения геометрической точности таких элементов при минимизации механической обработки;

- жесткое взаимодействие с геосредой требует применения технологических мероприятий по повышению износостойкости многих элементов гехода. Особенность гехода состоит в том, что распространенные методы повышения износостойкости поверхностей, таких как наплавка износостойких материалов, применение покрытий и модификация поверхностей, а также поверхностной и объемной термообработки, являются нецелесообразными, поскольку они либо экономически неэффективны на поверхностях большой протяженности, либо не обеспечивают необходимого запаса износостойкости. В других видах горных машин данная проблема не возникает, поскольку активно взаимодействуют с геосредой лишь отдельные элементы машины, которые могут быть подвергнуты известным способам повышения износостойкости;

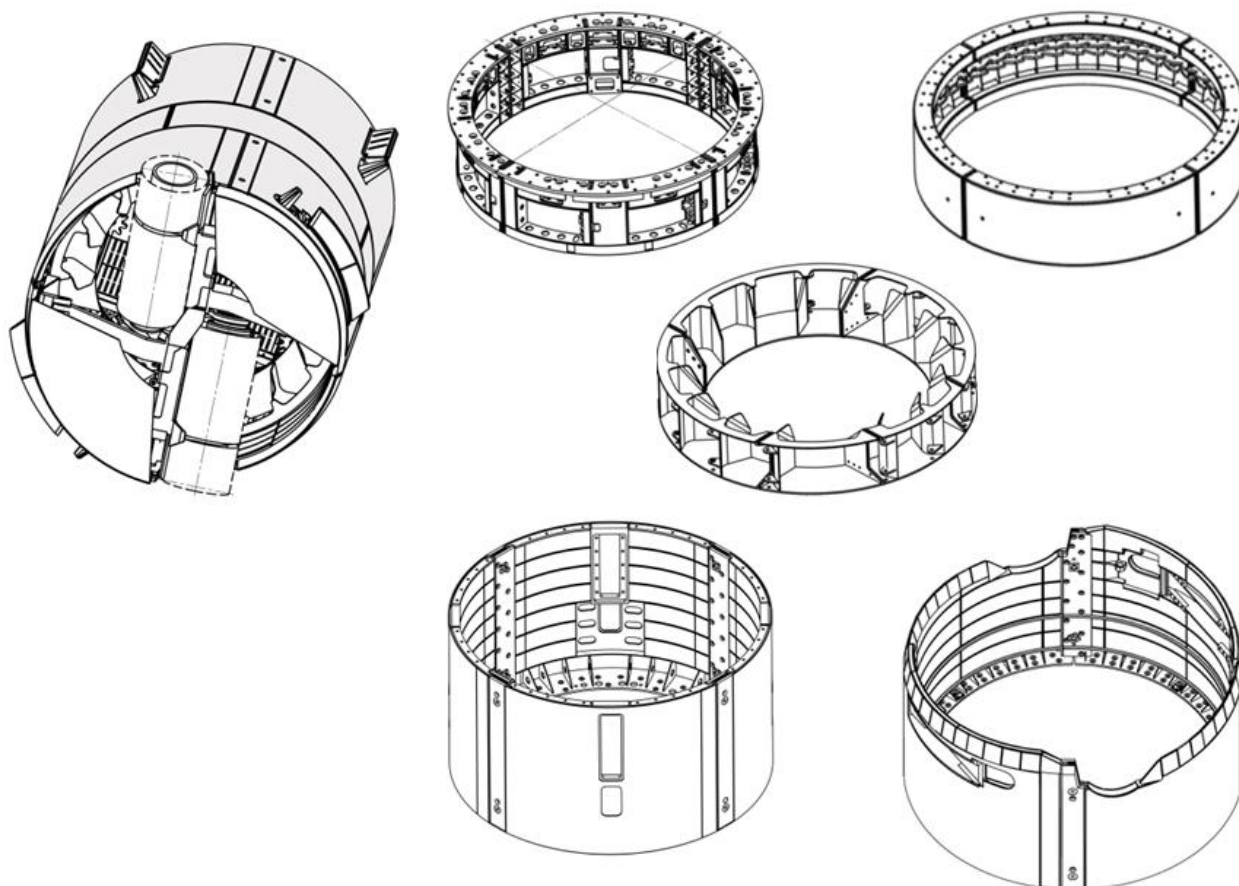
- недостаточная жесткость крупногабаритных составных частей гехода до его сборки требует проведения особых мероприятий по обеспечению точности изготовления и сохранения точности в процессе ввода в эксплуатацию и эксплуатации гехода. В горных машинах других видов данная проблема решается повышением жесткости изделий за счет увеличения массы машины. Для геходов подобное решение неприемлемо.

Таким образом, можно заключить, что геход как предмет производства обладает выраженной спецификой, которая ставит актуальные задачи разработки новых технологий изготовления горных машин.



## 1.2 Крупногабаритные корпуса вращения геохода

Как следует из пункта 1.1 одними из наиболее ответственных узлов геохода являются крупногабаритные корпуса вращения геохода, к которым относятся сборочные единицы с наружной цилиндрической поверхностью, имеющие плоскости разъема. К ним относятся некоторые корпуса (коды по классификатору ЕСКД 301121 и 301141), а также ряд роторов (код 304143) и барабанов (код 304146). Подобные изделия характерны для крупной транспортной и грузоподъемной техники, энергетических машин, некоторых двигателей и горных машин. В конструкцию геохода входит, по меньшей мере, пять сборочных единиц данного типа, имеющих значительную долю в общей себестоимости машины: корпус и внешний корпус модуля сопряжения, корпус головной секции, корпус стабилизирующей секции, ротор погрузочной системы (рисунок 1.3).



*Рис. 1.3 Общий вид геохода и крупногабаритных корпусов вращения*

Объединение перечисленных изделий в единую группу обусловлено общностью их конструктивных и технологических признаков: корпуса имеют кольцевую форму, корпуса имеют большие габариты (диаметр от 2940 мм до 3200 мм); корпуса являются сегментными, т. е. состоят из отдельных сегментов, соединенных в общее кольцо по замкам болтовыми соединениями. Эта общность определяет необходимость разработки общих

подходов к созданию и обоснованию технологий их изготовления.

Главные конструктивные отличия данных корпусов друг от друга следующие:

- корпус модуля сопряжения – наличие точных окон и отверстий под штифты для установки сухарей, передающих тяговое усилие;
- корпус внешний модуля сопряжения – наличие круговых фасонных реек для храпового механизма;
- головная секция – наличие дорожек (опор) для ротора погрузочной системы с требованиями точности торцовых поверхностей;
- стабилизирующая секция – отсутствие габаритных механически обрабатываемых функциональных поверхностей.

На рисунке 1.4. показаны доли в себестоимости и трудоемкости изготовления различных узлов и систем гехода [11]. Как следует из диаграмм, в производственном плане наиболее важными элементами гехода являются крупногабаритные корпуса вращения (рисунок 4), к которым относятся: головная секция, стабилизирующая секция, корпус и внешний корпус модуля сопряжения, а также ротор погрузочной системы. Их суммарная доля в себестоимости составляет 43%, а доля в трудоемкости – 60%. Таким образом, повышение качества данной группы изделий и эффективности технологий их производства является важнейшей научно-практической задачей.



Рис. 1.4 Доли в себестоимости и трудоемкости изготовления различных узлов и систем гехода

### 1.3 Варианты реализации технологий обеспечения точности оболочек корпусов геохода

Технологически точность формируется точностью оболочек отдельных секторов и их взаимным расположением при сборке [12]. При этом согласно работе [13] для формирования точности оболочек могут быть использованы следующие мероприятия (рисунок 1.5):

- мероприятие «А. Выверка шпангоутов по листу оболочки» заключается в том, что форма оболочки сектора определяется формой листа, по которому ориентируются шпангоуты, а возникающий зазор заправляется при сварке сектора;

- мероприятие «В. Натягивание листа на шпангоуты» заключается в том, что форма оболочки сектора определяется формой и размещением шпангоутов, по которым ориентируется и в соответствии с которыми деформируется лист;

- мероприятие «С. Сборка без корректировки радиусов» заключается в том, что при сборке сектора ориентируются таким образом, чтобы поверхности оболочек секторов выстроились в одну цилиндрическую поверхность с номинальным радиусом секторов. При этом преобладающим фактором, определяющим форму оболочки секции будет являться форма секторов;

- мероприятие «D. Сборка с корректировкой радиусов» заключается в том, что при сборке сектора ориентируются таким образом, чтобы поверхности оболочек секторов лежали внутри поля допуска. При этом в сечении поверхность секции будет являться криволинейным многоугольником;

- мероприятие «Е. Обеспечение формы механической обработкой разъемов» заключается в том, что разъемы секторов, в том числе и отверстия под штифты, полностью обеспечивают взаимное базирование секторов при сборке за счет точности их механической обработки;

- мероприятие «F. Обеспечение формы позиционированием секторов при сборке» заключается в том, что в процессе сборки сектора взаимно ориентируют по поверхностям оболочек секторов независимо от разъемов. Замки разъемов могут в таком случае ввариваться в конструкцию «поместу».

Граф, приведенный на рисунке 1.5., дает классификацию мероприятий по обеспечению геометрической точности. Всего возможны восемь различных вариантов сочетаний мероприятий по обеспечению геометрической точности оболочек: «ACE», «ACF», «ADE», «ADF», «BCE», «BCF», «BDE», «BDF».

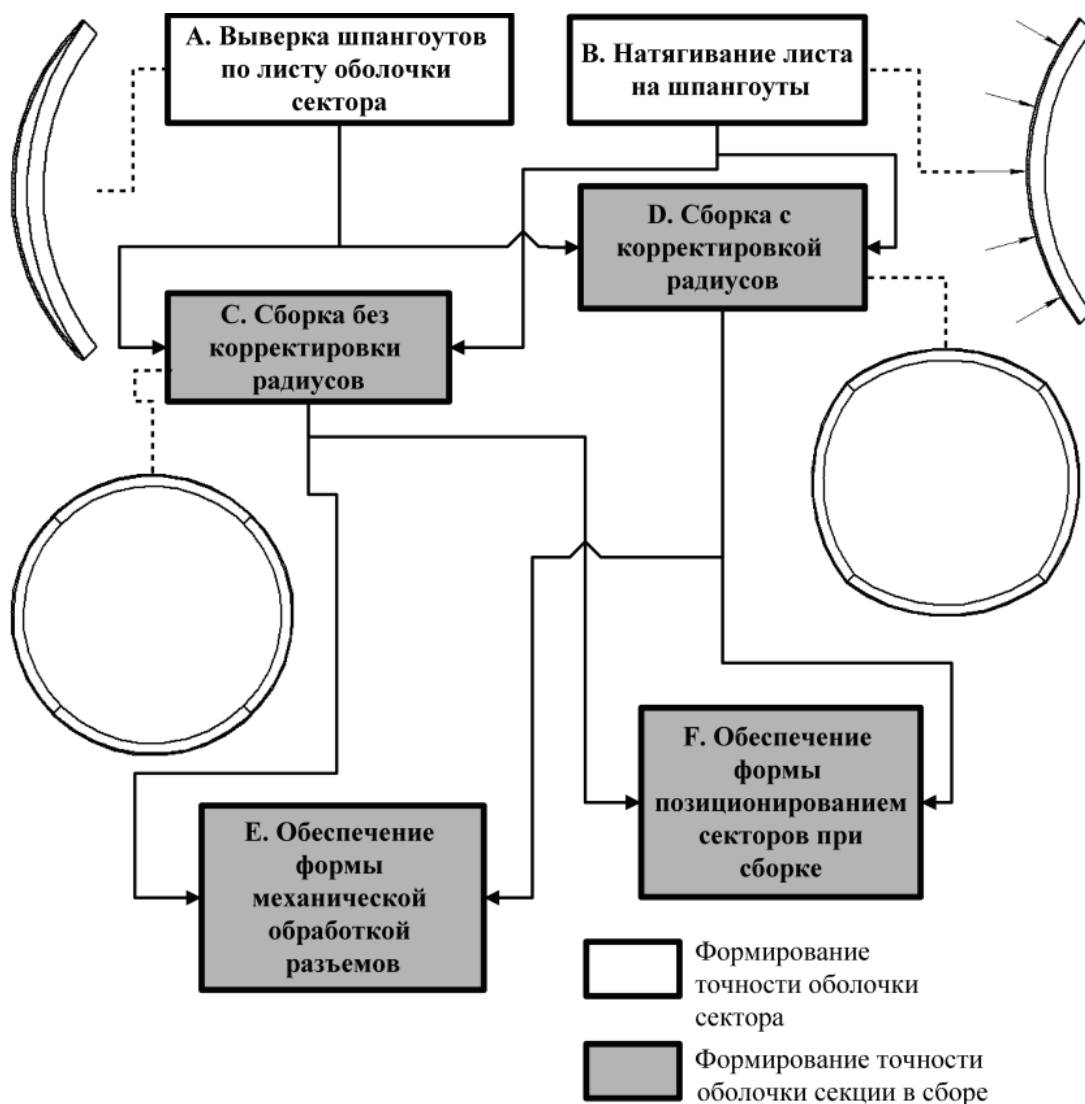


Рис. 1.5 Граф мероприятий по обеспечению геометрической точности оболочек [13]

В процессе постановки корпусов геохода на производство [14] реализовывался вариант «BCF», поскольку он обладает следующими преимуществами, важными в условиях опытного производства: гарантированное обеспечение собираемости и отсутствие потребностей в специальной оснастке.

Реализация данного варианта выявила следующее:

- выбранный вариант позволяет обеспечить установленные требования к точности оболочек. Изготовленные корпуса контролировались при помощи мобильной координатно измерительной машины «FaroArmEdge 9». Результаты контроля показали, что отклонения оболочки от цилиндричности не превысили 9,463 мм (при допуске 10 мм), а отклонение от диаметрального размера не превысили 8,132 мм (при допустимых отклонениях  $\pm 10$  мм);

- технико-экономический анализ данного варианта технологии изготовления, выполненный специалистами предприятия-изготовителя,

показал, что в сравнении с вариантами, предусматривающими мероприятие «Е. Обеспечение формы механической обработкой разъемов», вариант «ВCF» позволяет более чем вдвое снизить трудоемкость на изготовление корпусов;

- выявлено, что при реализации технологии по варианту «ВCF» существенное влияние на форму изделий оказывают деформации вследствие напряжений, возникающих в результате сварки.

#### 1.4 Известные модели формирования погрешностей оболочек крупногабаритных сегментных изделий

Корпусы геохода относятся к кольцевым сегментным изделиям, а одним из наиболее существенных факторов, усложняющих технологию изготовления корпусов геохода, является их разъёмность. Каждый из корпусов состоит из нескольких секторов, соединенных друг с другом при помощи разъемных соединений. Это приводит к тому, что на геометрическую точность влияет большое количество факторов, определяющих точность составных частей корпуса и точность сборки корпуса.

В работе [13] предложены варианты технологий изготовления корпусов геохода. Показано, в том числе и на основе производственного опыта, что в условиях опытного производства наиболее полно установленным требованиям соответствует вариант технологии с обеспечением формы путем позиционирования секторов при сборке. Это обусловлено следующими преимуществами: гарантированное обеспечение собираемости, отсутствие потребностей в специальной оснастке, возможность исправления брака.

В работе [15] показано, что взаимное положение секторов при сборке, а также погрешность радиуса оболочки каждого сектора оказывают самое непосредственное влияние на отклонения формы оболочки. Там же предложена модель для определения отклонений на основе значений допусков на составные части корпуса и параметры технологической наладки в процессе сборки.

Наиболее адаптированная к условиям корпусов геохода модель формирования погрешностей приведена в работах [16; 17]. Данная модель основана на технологической схеме, представленной на рисунке 1.6.

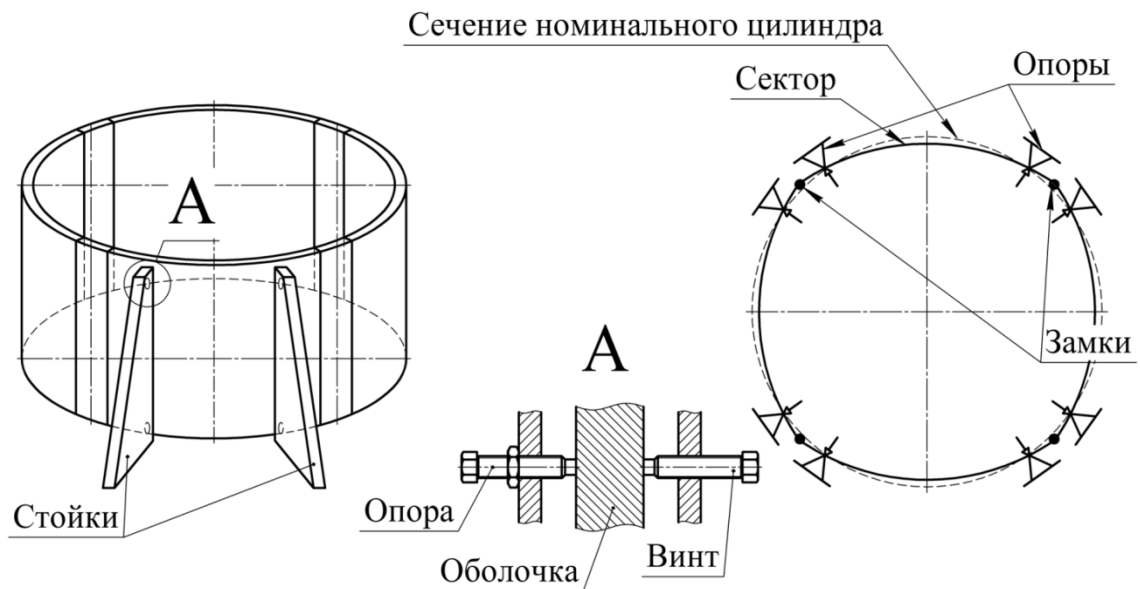


Рис. 1.6 Технологическая схема сборки корпусов

Расчетная схема к модели приведена на рисунке 1.6. Модель является плоской и принимает во внимание возможные изменения положения от отдельного сектора. В общем случае окружность данного сектора отличается от номинальной окружности секции величиной радиуса, а также положением центра. Отклонение профиля сектора от номинальной окружности непостоянно и выражается следующим уравнением:

$$\Delta(\varphi) = |r_{so}(\varphi) - r_N|, \quad (1.1)$$

где  $r_N$  – радиус номинальной окружности оболочки;

$r_{so}(\varphi)$  – радиус-вектор точки сектора относительно центра номинальной окружности;

$\varphi$  – текущий угол радиус-вектора.

Радиус-вектор точки сектора относительно центра номинальной окружности определяется следующей суммой векторов:

$$r_{so}(\varphi) = d + r_s(\varphi), \quad (1.2)$$

где  $d$  – радиус-вектор центра дуги сектора относительно центра номинальной окружности;

$r_s(\varphi)$  – радиус-вектор точки сектора относительно центра дуги сектора.

Приведенные выше радиус-векторы могут быть определены из выражений:

$$d = -x_{os}i - y_{os}j; \quad (1.3)$$

$$r_s(\varphi) = r_s \sin \varphi \cdot i + r_s \cos \varphi \cdot j, \quad (1.4)$$

где  $x_{os}$  и  $y_{os}$  – координаты смещения центра дуги сектора относительно центра номинальной окружности;

$r_s$  – радиус сектора.

Координаты смещения центра дуги сектора определяются из выражений:

$$x_{os} = \frac{a}{2} - \sqrt{r_{b1}^2 - h^2}; \quad (1.5)$$

$$y_{os} = h - \frac{1}{2} \sqrt{4r_s^2 - a^2}; \quad (1.6)$$

$$h = \frac{a}{2} \sqrt{p(p-a)(p-r_{b1})(p-r_{b2})}; \quad (1.7)$$

$$p = \frac{1}{2}(a + r_{b1} + r_{b2}), \quad (1.8)$$

где  $a$  – расстояние между опорами;

$r_{b1}$  и  $r_{b2}$  – расстояния от центра номинальной окружности до опор.

Выражения (1.1) – (1.8) полностью описывают зависимость отклонения профиля сектора от номинальной окружности.

Поскольку корпус состоит из четырех секторов, отклонения необходимо рассматривать на участке номинальной окружности  $\alpha \in [-\frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{4}]$ .

Для использования выражений (1.1) – (1.8) необходимо найти соответствующий участок  $\varphi \in [\varphi_S; \varphi_E]$  (рисунок 1.3). Если принять за начало системы координат центр номинальной окружности, то уравнение окружности сектора можно записать в следующем виде:

$$x = -r_{\sin\varphi} - x_{os}; \quad (1.9)$$

$$y = r_{\cos\varphi} - y_{os}. \quad (1.10)$$

Для точки К на рисунок 1.3, соответствующей  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  и  $\varphi_E$ , выполняется

условие  $-x = y$ . Для точки М на рисунок 1.3, соответствующей  $\alpha = -\frac{\pi}{4}$  и  $\varphi_S$ ,

выполняется условие  $x = y$ . Границы участка  $[\varphi_S; \varphi_E]$ :

$$\varphi_S = \arcsin\left(\frac{x_{os} - y_{os}}{r_s \sqrt{2}}\right) - \frac{\pi}{4}; \quad (1.11)$$

$$\varphi_E = \frac{\pi}{4} - \arcsin\left(\frac{-x_{os} - y_{os}}{r_s \sqrt{2}}\right). \quad (1.12)$$

Методика расчетов по данной модели автоматизирована и апробирована [18], следовательно, может быть использована при теоретических исследованиях процесса формирования неточностей оболочек корпусов геохода.

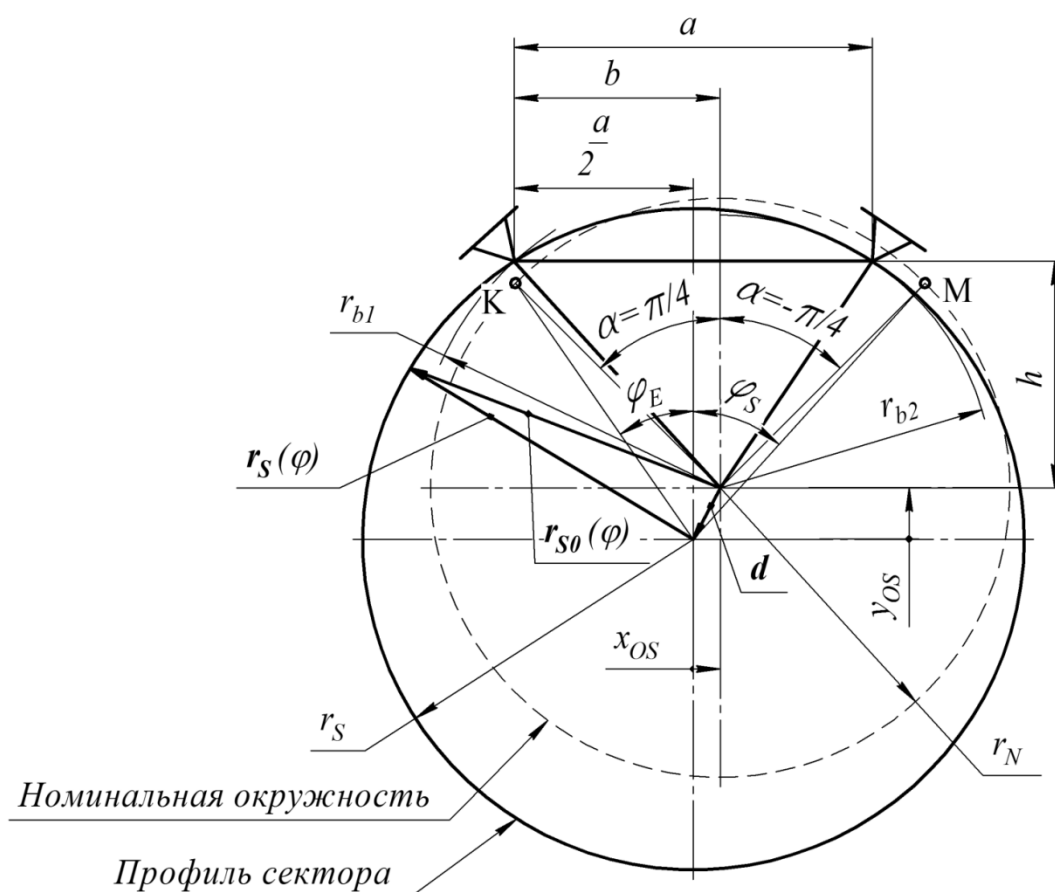


Рисунок 1.7 Расчетная схема к модели формирования погрешности оболочки

Анализ полученных выражений показывает, что на отклонение профиля сектора от номинальной окружности оказывают влияние следующие факторы:

- радиус номинальной окружности ( $r_N$ );
- действительный радиус сектора ( $r_S$ );
- действительные расстояния от центра номинальной окружности до опор ( $r_{b1}$  и  $r_{b2}$ );
- расстояние между опорами ( $a$ ).

Приведенная выше модель позволила авторам получить следующие основные выводы:

- отклонение профиля сектора от номинальной окружности непостоянно по угловой координате, а для оценки соответствия отклонений требованиям точности необходимо определять экстремальные значения отклонения. Возникающие отклонения существенным образом зависят от расстояний опор на технологической наладке;

- при практических расчетах в процессе проектирования операции сборки необходимо учитывать значения допусков на расстояния от центра номинальной окружности до опор и на радиус сектора;

- схема «ВCF» реализации сборки способна обеспечить геометрическую точность оболочки без регулирования, пригонки и подбора.



Расчеты показывают, что имеются сочетания допусков на расстояния от центра номинальной окружности до опор и на радиус сектора и расстояния между опорами, обеспечивающие более высокая точность оболочки секции в сравнении с отдельным сектором.

В то же время в ряде работ отмечается, что подобные модели не способны исчерпывающим образом описывать возникающие погрешности оболочек, поскольку не учитывают все значимые факторы [19–22]. Это обуславливает необходимость новых экспериментальных и теоретических исследований в области обеспечения точности оболочек.

### 1.5 Выводы по обзору литературы

Анализ информации, приведенной в рассмотренных источниках, позволяет сделать следующие выводы:

1 Геоход как новый вид техники, обладающий новыми конструктивными признаками, которые приводят к необходимости разработки и обоснования технологических решений в процессах его производства. Наиболее важными и технологически специфическими элементами геохода являются крупногабаритные корпуса вращения.

2 Оболочки корпусов вращения геохода являются ответственными изделиями конструкции, от точности которых зависят эксплуатационные характеристики аппарата в целом. В связи с конструктивными особенностями и экономическими факторами точность оболочек может быть обеспечена только в процессе сборки корпусов.

3 Точность оболочек собираемых корпусов в значительной мере зависит от параметров технологической наладки на сборку, а также точности исходных деталей. В связи с этим важной задачей является обоснование параметров технологических наладок и требований к исходным деталям.

4 Существует ряд математических моделей, описывающих формирование погрешностей для крупногабаритных сегментных изделий, в том числе и разработанные специально для оболочек корпусов вращения геохода. Модели позволяют проводить теоретические исследования точности, анализировать влияние различных факторов и обосновывать параметры наладок исходя из принятых в данном процессе условий.

5 Теоретические исследования не позволяют получить исчерпывающую информацию о формировании погрешностей, что обуславливает необходимость экспериментальных исследований результатов опытного производства.

## 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Студент гр. 10300	_____	<u>А.А.Солдатова</u>
	(Подпись)	
	_____	
	(Дата)	
Руководитель к. т. н., доцент кафедры ТМС	_____	<u>А. В. Вальтер</u>
	(Подпись)	
	_____	
	(Дата)	
Нормоконтроль к. т. н., доцент кафедры ТМС	_____	<u>А. А. Ласуков</u>
	(Подпись)	
	_____	
	(Дата)	

## 2.1 Объект и методика теоретических исследований

Объектом теоретических исследований является математическая модель формирования погрешностей оболочек корпусов геохода, различные варианты и аспекты которой представлены в работах [23-25]. Исследование проводится на основе аппарата линейной алгебры и аналитической геометрии с применением пакетов программ прикладной математики.

В развернутом виде модель выражается уравнением:

$$\begin{aligned} \delta(\varphi, r_N, r_S, r_{b1}, r_{b2}, a) = & -r_N + \left[ r_S \sin \varphi + \frac{a}{2} - \sqrt{r_{b1}^2 - \frac{1}{4a^2} \left( (r_{b1} + r_{b2})^2 - a^2 \right) \left( a^2 - (r_{b1} + r_{b2})^2 \right)} \right]^2 + \dots \\ & \dots + \left( r_S \cos \varphi + \frac{\sqrt{2}}{a} \sqrt{\left( (r_{b1} + r_{b2})^2 - a^2 \right) \left( a^2 - (r_{b1} + r_{b2})^2 \right)} - \frac{1}{2} \sqrt{4r_S^2 - a^2} \right)^2 \frac{1}{4}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Как отмечено в работе [24], модель имеет сложный характер зависимости погрешности от входных параметров. При этом модель может быть исследована в условиях различной постановки задач:

- обратная задача (проверочная): при известных параметрах технологической наладки и требованиях к исходным секторам необходимо определить величину погрешности;

- прямая задача (проектная): по известным требованиям к точности оболочки определить требования к параметрам технологической наладки и точности исходных секторов.

Помимо того, указанные задачи могут быть решены вероятностным методом на основе статистического моделирования рассеивания величин параметров и по методу максимума-минимума, учитывающему наилучшие сочетания параметров и максимальные значения погрешностей.

Поскольку объемы производства корпусов геохода недостаточны для надежного проявления статистических зависимостей при теоретических исследованиях в данной работе используется метод максимума-минимума. Моделирование направлено на решение прямой задачи (определение параметров наладки), однако для получения частных решений используется проверочная задача. При моделировании учитываются допуски на входные параметры  $r_S$ ,  $r_{b1}$  и  $r_{b2}$ . Моделирование основано на нахождении максимального значения погрешности в пространстве варьируемых параметров:

$$\Delta = \max(\delta_{ax})$$

$$\varphi = [\varphi_S; \varphi_E]; r_N = \text{const}; a = \text{const};$$

$$r_S = \left[ r_N - \frac{T_S}{2}; r_N + \frac{T_S}{2} \right]; r_{b1} = \left[ r_N - \frac{T_b}{2}; r_N + \frac{T_b}{2} \right]; r_{b2} = \left[ r_N - \frac{T_b}{2}; r_N + \frac{T_b}{2} \right], \quad (2.2)$$

где  $T_S$  - допуск на радиус исходных секторов;

$T_b$  - допуск на расстояние до опор.

В ходе исследований расчеты выполнялись как численными, так и аналитическими методами.

## 2.2 Объекты и методика экспериментальных исследований

Объектами экспериментальных исследований являются образцы изделий: внешний корпус модуля сопряжения ФЮРА.612322.401.3.02 и корпус стабилизирующей секции ФЮРА.612322.401.2.01 (рисунок 2.1).

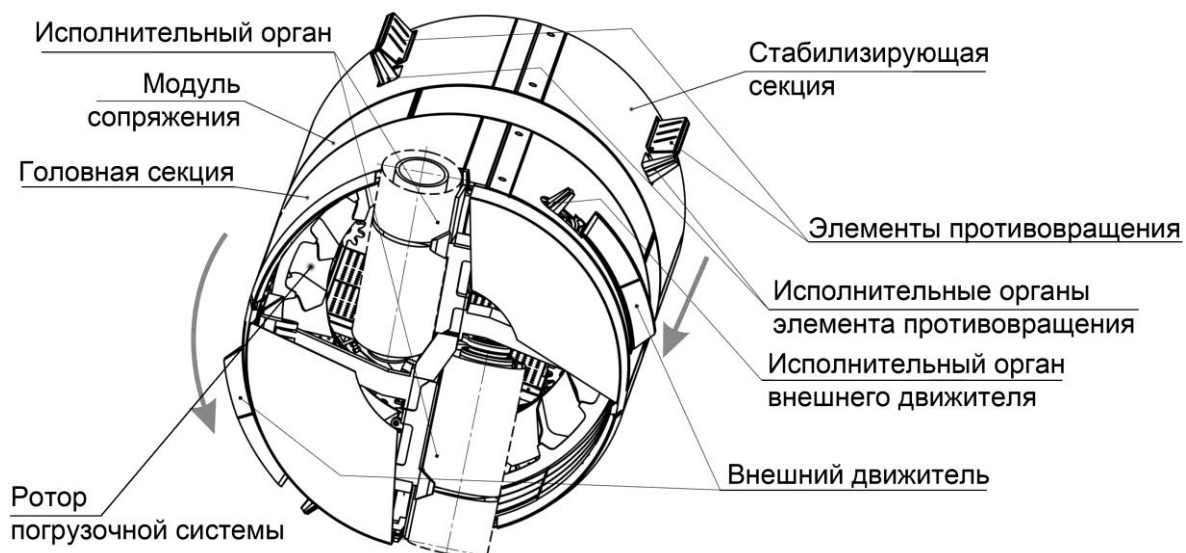


Рис. 2.1 Общий вид геохода

Образцы изготовлены на предприятии «НПО Элсиб ОАО» в ходе опытного производства геохода модели 401 (рисунок 2.2).

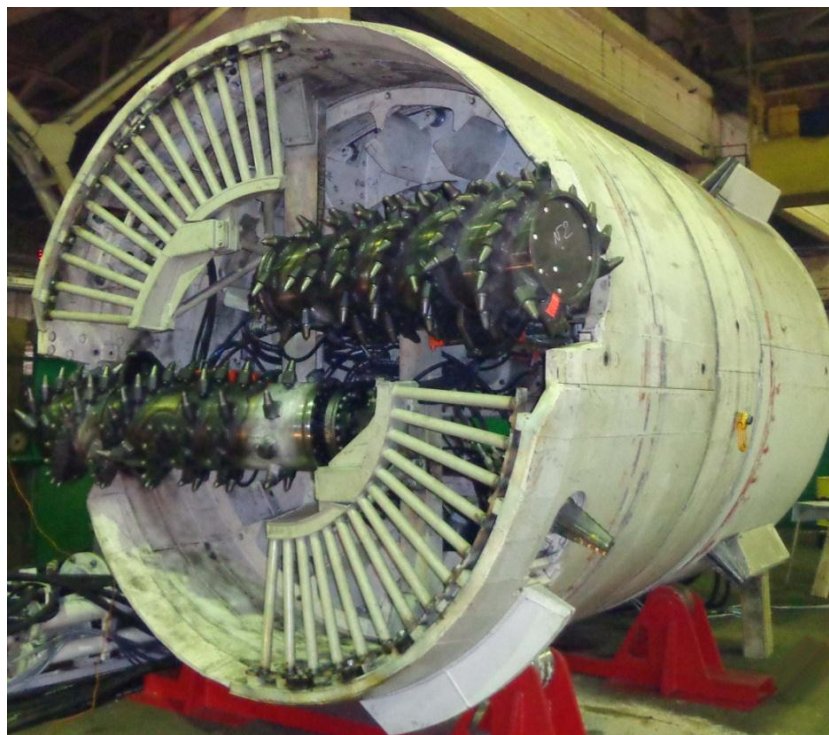


Рис. 2.2 Опытный образец геохода

Исследование проводилось на основе координатного контроля корпусов опытного образца геохода. Координатный контроль выполнялся координатно-измерительной машиной (КИМ) типа «искусственная рука» FARO модели ArmEdge 9. Технические характеристики КИМ приведены в таблице 1.1. В процессе контроля корпус устанавливался вертикально на контрольную плиту. На той же плите базировалась КИМ. Контроль производился за четыре позиции КИМ – по одной на каждый сектор корпуса. Для получения координат фиксируемых точек в единой системе координат использовалась привязка КИМ по базирующим конусам. Для каждого из секторов снимались координаты до 90 точек на поверхности оболочки (в зависимости от состояния поверхности).

Таблица 2.1 – Технические характеристики координатно-измерительной машины

Наименование характеристики	Значение
Размер рабочей зоны	2700 мм
Погрешность линейных измерений (по ISO 10360-2:2009)	$\pm 0,041$ мм
Повторяемость (по ISO 10360-2:2009)	0,029 мм
Число степеней свободы	7

Первичная обработка данных контроля проводилась в пакете программ Power INSPECT. Координаты зафиксированных в процессе контроля точек оболочки представлялись в системе координат, связанной с плоскостью контрольной плиты. Для этого на контрольной плите при помощи КИМ были зафиксированы девять точек. Начало системы координат задавалось центром окружности, которая является сечением цилиндра, описанного вокруг всех зафиксированных точек оболочки (прилежающего цилиндра), в плоскости контрольной плиты.

Методика экспериментальных исследований направлена на:

- моделирование поверхности оболочки геохода по наборам координат контролируемых точек изделия;
- определение фактических отклонений геометрической точности;
- корреляционный анализ зависимостей отклонений геометрической точности от внешних факторов;
- статистический анализ остатков моделей и проверка адекватности моделей поверхностей оболочки.

Для решения указанных задач использовалось математическое обеспечение [26], состоящее из ряда взаимодействующих функциональных блоков (рисунок 2.3).

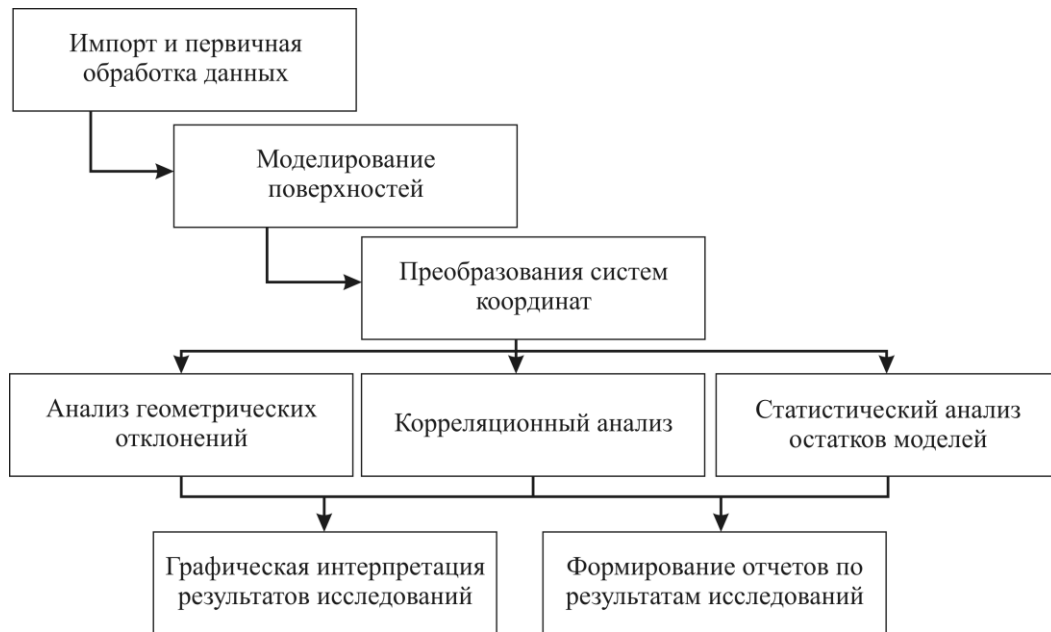


Рис. 2.3 Блок-схема математического обеспечения

В результате контроля были получены облака точек на действительных поверхностях корпусов (рисунок 2.4), координаты которых в дальнейшем использовались для анализа в разработанном программном обеспечении [26].

Дальнейшее выявление фактической точности поверхностей, оценка обоснованности математической модели формирования погрешности и выявления значимых факторов производилось путем создания регрессионных моделей поверхностей на основе экспериментальных данных и статистического анализа рядов данных.

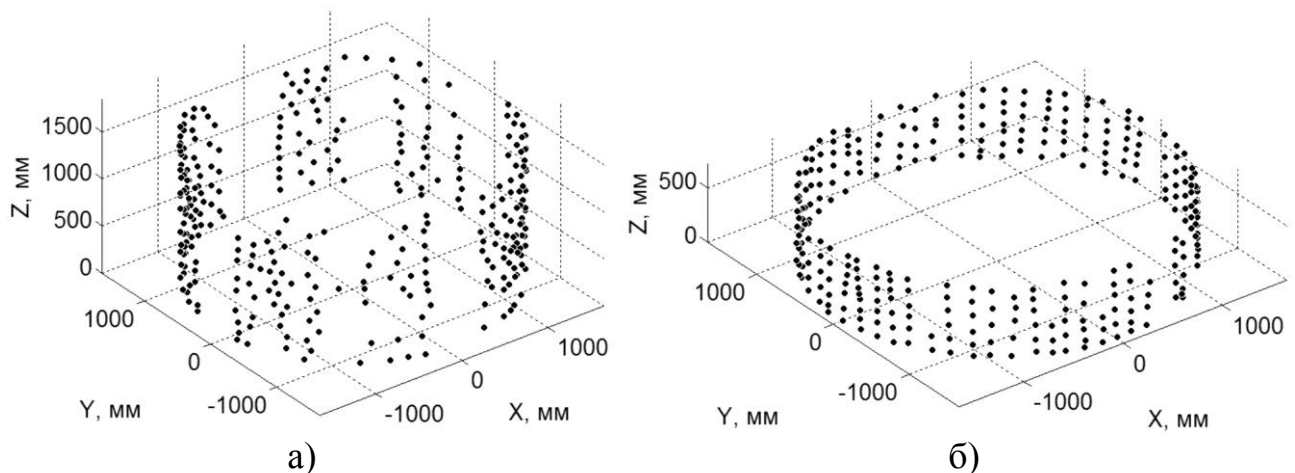


Рис. 2.4 Облака точек по результатам координатного контроля:  
 а) стабилизирующей секции; б) внешнего корпуса модуля сопряжения

Последующий анализ данных контроля предполагает их сравнение не только с номинальной геометрией модели, но и с идеализированной моделью действительных поверхностей оболочек. Создание такой модели предполагает аппроксимацию исходных точек цилиндрической поверхностью с выполнением некоторых условий, подразумевающих

минимизацию их отклонений от аппроксимирующей поверхности. В метрологии распространены четыре метода, основанные на различных условиях аппроксимации [27]:

- метод Гаусса, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений;
- метод описанного цилиндра;
- метод вписанного цилиндра;
- метод Чебышева, основанный на поиске среднего цилиндра между вписанным и описанным.

Методы 2–3 используются для анализа сопрягаемых поверхностей, охватываемой и охватывающей, соответственно. Основная их задача – анализ собираемости изделий. Метод 4 используется для анализа отклонений от цилиндричности в соответствии с установленными требованиями к поверхности. Метод 1 выявляет погрешности, связанные с отклонениями от заданной формы и адекватен в случаях относительно небольших отклонений.

Поскольку анализ, для которого создавалось математическое обеспечение, направлен на выявление погрешностей, при создании моделей использовался метод Гаусса. Дальнейшие исследования подтвердили достаточно небольшие величины отклонений (не более 0,35% от номинального радиуса), что может служить подтверждением корректности использования метода Гаусса.

Математически разработанная модель выражается следующей системой уравнений, основанных на уравнении цилиндрической поверхности:

$$\psi_1^2 + \psi_2^2 + \psi_3^2 - (r - \varepsilon_i)^2 = 0; \quad (2.3)$$

$$\psi_1 = -a_y z_i - \sqrt{1 - a_x^2 - a_y^2} (y_0 - y_i); \quad (2.4)$$

$$\psi_2 = \sqrt{1 - a_x^2 - a_y^2} (x_0 - x_i) + a_x z_i; \quad (2.5)$$

$$\psi_3 = a_x (y_0 - y_i) - a_y (x_0 - x_i), \quad (2.6)$$

где  $x_i, y_i, z_i$  – координаты аппроксимируемых точек;

$a_x, a_y, x_0, y_0, r$  – неизвестные коэффициенты регрессии, имеющие следующий геометрический смысл:  $a_x, a_y$  – координаты направляющего вектора оси аппроксимирующего цилиндра;

$x_0, y_0$  – координаты точки, через которую проходит ось аппроксимирующего цилиндра;

$r$  – радиус аппроксимирующей цилиндрической поверхности;

$\varepsilon_i$  – остаток регрессионной модели.

Для придания определенности и упрощения дальнейшего анализа направляющий вектор оси аппроксимирующего цилиндра принимался единичным, а точка оси принималась лежащей в плоскости XY, т. е.:

$$a_z = \sqrt{1 - a_x^2 - a_y^2}; \quad (2.7)$$

$$z_0 = 0.$$

Коэффициенты регрессии определялись по методу наименьших квадратов, т.е.:

$$\sum_{i=1}^T \varepsilon_i^2 \rightarrow \min, \quad (2.8)$$

где  $n$  – количество аппроксимируемых точек или, что то же самое, длина векторов  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{y}$ ,  $\mathbf{z}$ .

Таким образом, моделирование сводится к решению задачи минимизации функционала (2.8) на основе уравнений (2.3)–(2.7). Данная задача решалась посредством крупномасштабного алгоритма, основанного на методе внутренних отражений Ньютона. Реализация данного метода на экспериментальных данных показала удовлетворительную сходимость метода применительно к поставленной задаче. Установленная величина невязки достигалась в среднем за 20 итераций.

Помимо того, в ходе исследований выяснилось, что отклонения точек поверхности от аппроксимирующего цилиндра носят гармонический характер. В связи с этим при разработке математического обеспечения встала необходимость описания отклонений гармонического характера. Модель отклонений формулировалась уравнением:

$$A \sin(k\theta + \varphi) - \varepsilon_i - \varepsilon'_i = 0; \quad (2.9)$$

где  $A$ ,  $k$ ,  $\varphi$  – неизвестные коэффициенты регрессии, имеющие следующий геометрический смысл:  $A$  – амплитуда гармонической составляющей;  $k$  – коэффициент частоты колебаний;  $\varphi$  – сдвиг по фазе;

$\theta$  – полярная координата точки;

$\varepsilon_i$  – остаток регрессионной модели;

$\varepsilon'_i$  – остаток текущей регрессионной модели.

Коэффициенты регрессии из уравнения определялись методом Гаусса, т. е. на основе условия (2.8). При этом также использовался крупномасштабный алгоритм, основанный на методе внутренних отражений Ньютона.



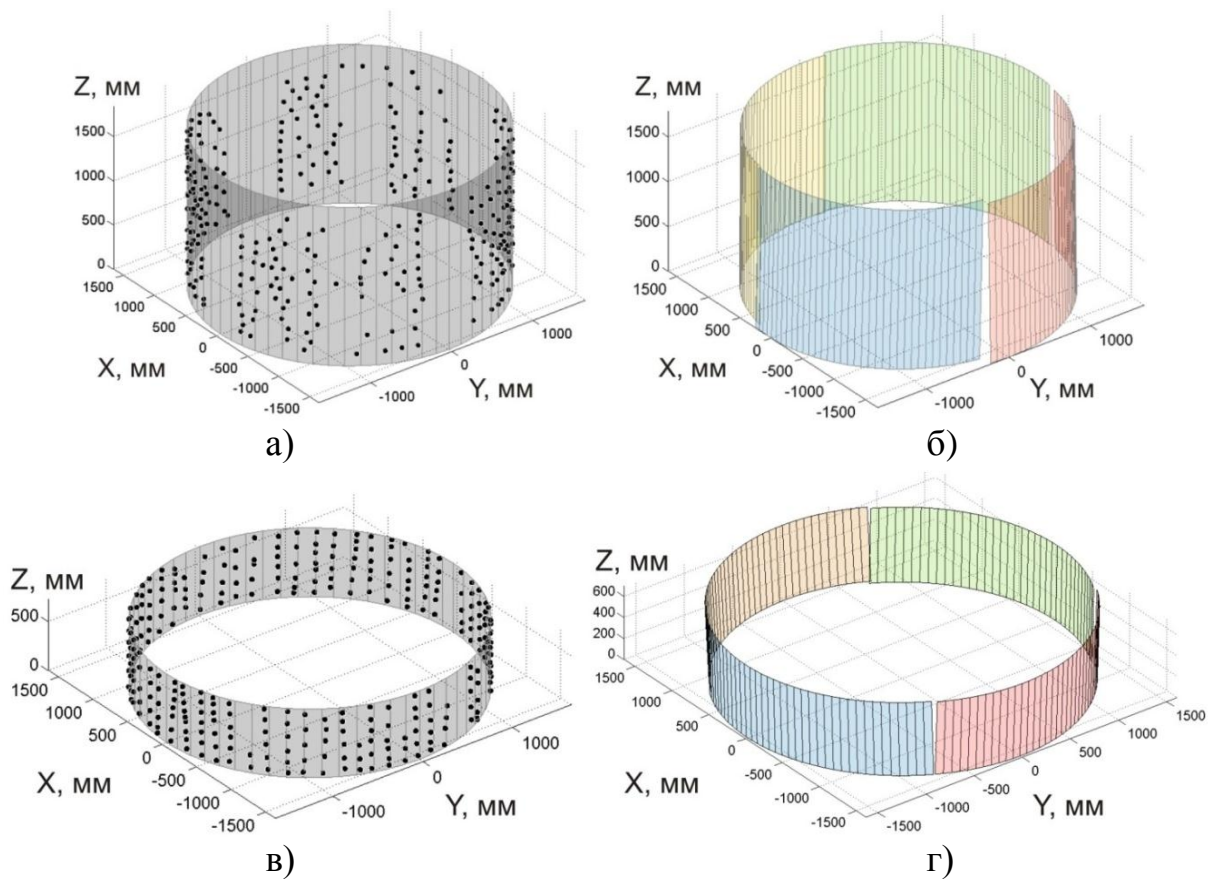


Рис. 2.5 Аппроксимирующие поверхности: а) общий цилиндр стабилизирующей секции; б) сегменты стабилизирующей секции; в) общий цилиндр внешнего корпуса модуля сопряжения; г) сегменты внешнего корпуса модуля сопряжения

Построение выполнялось методом Гаусса с использованием следующего уравнения:

$$(a_y z_i + a_z (y_0 - y_i))^2 + ((a_z (x_0 - x_i) + a_x z_i)^2 + \dots \quad (2.10)$$

$$+ (a_x (y_0 - y_i) - a_y (x_0 - x_i))^2 - (r - \varepsilon_i)^2 = 0,$$

где  $x_i, y_i, z_i$  – координаты аппроксимируемых точек;

$a_x, a_y, x_0, y_0, r$  – неизвестные коэффициенты регрессии:  $a_x, a_y, a_z$  – координаты направляющего вектора оси аппроксимирующего цилиндра;

$x_0, y_0$  – координаты точки, через которую проходит ось аппроксимирующего цилиндра;

$r$  – радиус аппроксимирующего цилиндра;

$\varepsilon_i$  – остаток регрессионной модели.

С учетом того, что направляющий вектор оси цилиндра принимался единичным, при расчетах использовалось дополнительное уравнение:

$$a_x^2 + a_y^2 + a_z^2 = 1.$$

Для наглядности результатов моделирования в дальнейшем координаты точек контроля переводились в цилиндрические системы координат  $\theta\rho Z$  ( $\theta$  – угловая координата,  $\rho$  – расстояние (радиус) от оси  $Z$  до точки), связанные с осями аппроксимирующих цилиндрических поверхностей.

Дальнейшие исследования проводились путем анализа точности созданных моделей поверхностей и анализа их адекватности. Определялись стандартные статистические характеристики отклонений точек контроля от поверхностей и производился регрессионный анализ моделей, путем проверки рядов остатков моделей. Ряды остатков исследовались на наличие корреляции, соответствие закону нормального распределения, отсутствие тренда и отсутствие автокорреляции. Соответствие закону нормального распределения проводилось по критерию Харке-Бера, отсутствие тренда определялось по критерию поворотных точек, отсутствие автокорреляции – по критерию Дарбина – Уотсона.

Для эффективного анализа данных контроля необходимо вводить новые системы координат (СК), связанные с полученными математическими моделями оболочек корпуса. Соответственно, необходимо преобразовывать координаты в новые СК. В данном исследовании после определения математических моделей оболочек корпуса по уравнениям (2.3) – (2.8) координаты пересчитывались в СК, связанную с осью цилиндрической поверхности. Такой подход позволяет, получив цилиндрические координаты точек в данной СК, непосредственно определять радиус-вектор каждой точки.

Преобразования выполняются с применением однородных координат и обобщенной матрицы преобразований по методике, аналогичной приведенной в [28]:

$$[x_1 \ y_1 \ z_1 \ h] = [x \ y \ z \ 1] \cdot \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & 0 \\ O_1 & O_2 & O_3 & 0 \\ A_1 & A_2 & A_3 & 0 \\ P_1 & P_2 & P_3 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.11)$$

Коэффициенты матрицы преобразований определяются из приведенных ниже выражений.

$$\begin{aligned} A_1 &= a_x; \quad A_2 = a_y; \quad A_3 = \sqrt{1 - A_1^2 + A_2^2}; \\ N_1 &= n_x; \quad N_2 = \sqrt{1 - N_1^2}; \quad N_3 = 0; \\ O_1 &= N_2 A_3 - N_3 A_2; \quad O_2 = N_1 A_3 - N_3 A_1; \quad O_3 = N_2 A_3 - N_3 A_2; \\ P_1 &= x_0; \quad P_2 = y_0; \quad P_3 = 0. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Последующий анализ данных контроля предполагает их сравнение не только с номинальной геометрией модели, но и с идеализированной моделью действительных поверхностей оболочек. Сравнение производилось по стандартным характеристикам отклонений: выборочное стандартное отклонение, норма остатков, выборочное максимальное значение отклонений, выборочное максимальное значение отклонений.

Для выявления наличия взаимозависимости геометрических отклонений контролируемых точек от их координат производился корреляционный анализ с использованием. Взаимозависимость устанавливалась по парам значений  $\varepsilon - \theta$  и  $z - \varepsilon$ . Значимость взаимозависимости оценивалась по коэффициенту корреляции Пирсона.

Для оценки адекватности создаваемых регрессионных моделей математическое обеспечение включает ряд тестов для статистического анализа ряда остатков моделей. Выполняется проверка соответствия распределения в ряду остатков нормальному закону распределения, отсутствие тренда в ряду остатков (случайность остатков) и наличие автокорреляции в ряду остатков.

Соответствие нормальному закону распределения проверяется по двум критериям: по рекомендованному ГОСТ Р ИСО 5479-2002 критерию Эппса–Палли и широко используемому в зарубежных работах критерию Харке–Бера. Уровень значимости при использовании критериев принимается  $\alpha = 0,05$ . Отсутствие тренда в ряду остатков устанавливается по критерию поворотных точек. Наличие автокорреляции в ряду остатков устанавливается посредством критерия Дарбина-Уотсона.

### 3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

Студент гр. 10300	_____	<u>А.А.Солдатова</u>
	(Подпись)	
	_____	
	(Дата)	
Руководитель	_____	<u>А.В.Вальтер</u>
к.т.н, доцент кафедры ТМС	(Подпись)	
	_____	
	(Дата)	
Нормоконтроль	_____	<u>А.А.Ласуков</u>
к. т. н., доцент кафедры ТМС	(Подпись)	
	_____	
	(Дата)	

### 3.1 Технологическая часть

#### 3.1.1 Служебное назначение и технические характеристики детали (изделия).

Выбранное изделие – внешний корпус модуля сопряжения. Внешний корпус модуля сопряжения выполнен в форме разъемного кольца, состоящего из четырех секторов ФЮРА.612322.401.3.02.01.000, соединяемых стыковым болтовым соединением. Секторы представляют собой сварные конструкции, состоящие из внешней оболочки и системы стрингеров, шпангоутов и ребер, а также соединительного узла, по которому сопрягаются сектора. Надежное соединение головной секции и внешнего корпуса модуля сопряжения обеспечивается за счет болтового соединения, состоящего из болтов М24 в количестве 80 шт, предназначенных для крепления и стабилизации секции. Для передачи крутящего момента от модуля сопряжения к головной секции предусмотрено 4 отверстия под установку цилиндрических штифтов диаметром 60мм.

Корпус изготавливается из стали 09Г2С ГОСТ 19281 – 89 .

Класс: Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций. Широко применяется в производстве труб и другого металлопроката.

Химический состав стали 09Г2С приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Химический состав стали 09Г2С

Химический элемент	%
Кремний (Si)	0,5÷0,8
Марганец (Mn)	1,3÷1,7
Медь (Cu)	не более 0.3
Никель (Ni)	не более 0.35
Сера (S)	не более 0.04
Углерод (C)	не более 0.12
Хром (Cr)	не более 0.3
Фосфор (P)	не более 0.035
(As)	не более 0.08
(N)	не более 0.008

Технологические свойства стали 09Г2С приведены в таблице 3.2.

Механические свойства стали 09Г2С приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.2 – Технологические свойства стали 09Г2С

Свариваемость:	не применяется для сварных конструкций.
Флокеночувствительность:	не чувствительна
Склонность к отпускной хрупкости:	не склонна

Таблица 3.3 – Механические свойства стали 09Г2С

НД	Режим термообработки		Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	HRC	HB
	Операция	t, °C		не менее						
Гост 19282-73	нормализация	930–950	От 10 до 20 вкл.	325	470	21	63	59		

3.1.2 Производственная программа выпуска детали. Определение типа производства.

Масса детали:  $m = 2250$ кг.

Таким образом, имея количество деталей на основную программу 32 шт/год тип производства считается мелкосерийным.

Полученные значения сведены в таблицу 3.4

Таблица 3.4 – Годовая программа выпуска изделия

№ чертежа	Наименование детали	Марка материала	Число деталей на изделие	Процент на запасные части	Число изделий на программу	Масса, т	
						Изделия	На программу с запасными частями
ФЮРА.612322.401.3. 02.00.0000СБ	Корпус внешний	09Г2С	1	5	32	2,25	72

### 3.1.3 Анализ технологичности объекта производства.

Рассматриваемая деталь относится к классу корпусных деталей. Учитывая экономические факторы, конфигурация детали позволяет применить оптимальный метод получения заготовки – полоса горячекатаная. Конструкторская документация дает полное представление о конфигурации изделия, имеются все необходимые виды, разрезы, сечения и местные вырезы для полного представления конструкции изделия. Все указанные размеры на чертежах дают полное представление о габаритах изделий, также указаны все необходимые отклонения. Все требования шероховатости поверхности, отклонения формы и расположения имеют правильный вид и обозначены корректно. Дублирующих размеров нет. Чертежи дают сведения о материале изделия. Написание массы имеет правильный вид. Так же техническая документация дает сведения о способе получения заготовки.

Конструкция детали допускает обработку плоскостей на проход. Деталь довольно жесткая для применения высокопроизводительных режимов обработки. В корпусе отсутствуют плоскости и отверстия, расположенные под тупыми и острыми углами. Взаимное расположение поверхностей детали не вызывает трудности при подводе режущего инструмента.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что деталь достаточно технологична, ее конструкция допускает применение современных видов оснастки и высокопроизводительных методов обработки. На чертежах измерительные технологические базы совпадают. Все размеры можно проконтролировать с помощью универсального мерительного инструмента. Специальные измерительные средства не требуются.

#### 3.1.3.1 Количественная оценка технологичности

Коэффициент использования материала вычисляется по формуле (3.1).

$$K_{\text{им}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{з}}} = \frac{2250}{2280} = 0,99, \quad (3.1)$$

где  $m_{\text{д}}$  – масса детали, кг;

$m_{\text{з}}$  – масса заготовки, кг.

Коэффициент унификации конструктивных элементов вычисляется по формуле (3.2):

$$K_{\text{уэ}} = \frac{Q_{\text{уэ}}}{Q_{\text{э}}} = \frac{92}{91} = 1, \quad (3.2)$$

где  $Q_{\text{уэ}}$  – количество унифицированных элементов, шт.;

$Q_{\text{э}}$  – количество элементов всего в изделии, шт.

По этому показателю деталь технологична, так как коэффициент унификации больше 0,6.

Коэффициент шероховатости вычисляется по формуле (3.3):

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{ср}}} = \frac{1}{3,17} = 0,31 \quad (3.3)$$

Средняя шероховатость поверхностей находится по формуле (3.4):

$$B_{CP} = \frac{(0,01 \cdot n_1 + 0,02) \cdot n_2 + 40 \cdot n_{13} + 80 \cdot n_{14}}{\sum_{i=1}^{14} n_i}; \quad (3.4)$$

$$B_{CP} = \frac{2,5 \cdot 4 + 3,2 \cdot 88}{92} = 3,1,$$

где  $n_i$  – количество поверхностей, имеющих шероховатость, соответствующую данному числовому значению параметра  $R_a$ .

### 3.1.4 Выбор заготовки и метода ее изготовления

Производим технико-экономический расчет варианта изготовления заготовки: методом сварки.

Массу детали  $m$  в килограммах, определяем при помощи программы Компас V-15.

$$m = 2250 \text{ кг.}$$

#### 3.1.4.1 Заготовка на поверхность 1

Рассчитаем припуск на обработку поверхности 1 [29].

Материал детали 14ХГ2САФД.

$$z = (R_z + h + \Delta_\varepsilon + \varepsilon), \quad (3.5)$$

где  $R_z$  – высота неровностей профиля;

$h$  – глубина дефектного поверхностного слоя;

$\varepsilon$  – точность центрирования четырехкулачкового патрона;

$\Delta_\varepsilon$  – суммарные отклонения расположения поверхностей.

$$z = (0,05 + 0,75 + 3,2 + 2) = 6 \text{ мм.}$$

Так как после механической обработки нужно получить лист 30, то учитывая припуск, получаем:

$$30 + 6 = 36 \text{ мм.}$$

Выбираем лист 40 мм, 1580x1580 мм.

Технологическая себестоимость заготовки  $S_T$  в рублях определяется по формуле (3.6):

$$S_j^I = \frac{m}{K_{ИМ}} \cdot [C_3 + C_C \cdot (1 - K_{ИМ})], \quad (3.6)$$

где  $m = 92$  кг – масса детали;

$C_3 = 147,57$  руб. – стоимость 1 кг материала заготовки;

$C_C = 5,445$  руб/кг стоимость срезания 1 кг стружки при механической обработке в среднем по машиностроению.

Для определения коэффициента использования материала необходимо определить массу заготовки. Массу заготовки  $m$  в килограммах определяем при помощи программы Компас V-15.

$$m_3 = 122,7 \text{ кг.}$$

$$K_{ИМ} = \frac{92}{122,7} = 0,75. \quad (3.7)$$



$$S_j^I = \frac{92}{0,72} \cdot [147,57 + 5,445 \cdot (1 - 0,75)] = 18268,90 \text{ руб.}$$

Так как нам необходимо изготовить таких 4 листа, получаем:

$$S_j^I = 73075,6 \text{ руб.}$$

3.1.4.2 Рассчитаем припуск на обработку поверхности 2,3 [29].

Материал детали 09Г2С.

Расчет припусков проводим аналитическим методом. Данный метод основан на определении минимального припуска, который определяется по формуле [29]:

$$z = \delta + \delta_1 + \delta_2 + 2 + 6, \quad (3.8)$$

где  $\delta$  – допуск на толщину обечайки из науки ;

$\delta_1$  – допуск на лист толщиной 12 мм по ГОСТ;

$\delta_2$  – допуск на лист толщиной 10мм по ГОСТ;

2 – допуск на размер ребра;

6 – допуск на два сварных шва.

$$z = 9,5 + 1 + 0,9 + 2 + 6 = 19,4 \text{ мм.}$$

Минимальный припуск на обработку рассчитываем по следующей формуле (3.9):

$$z_{\min} = R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{E^2 + \Delta_{\Sigma}}, \quad (3.9)$$

где  $R_{z_{i-1}}$  – высота неровностей профиля на предшествующем переходе;

$h_{i-1}$  – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе;

$E$  – точность выверки;

$\Delta_{\Sigma}$  – суммарное отклонение расположения поверхности.

$$z_{\min} = 4,42 \text{ мм.}$$

Так как после механической обработки нужно получить лист 9,5 мм, то учитывая припуск, получаем:

$$9,5 + 4,42 = 13,92 \text{ мм.}$$

Предварительно выбираем лист 14 мм (2215x120 мм).

Уточним выбранные припуски расчетом размерной цепи методом максимума-минимума (рисунок 3.1). На рисунке изображено: A1 – радиус обечайки 1598,2 мм; A2 – толщина обечайки 10 мм; A3- 168 мм; A4 – радиус внутренней дорожки 1410 мм; X – искомая толщина листа; Zmin – минимальный припуск на обработку.

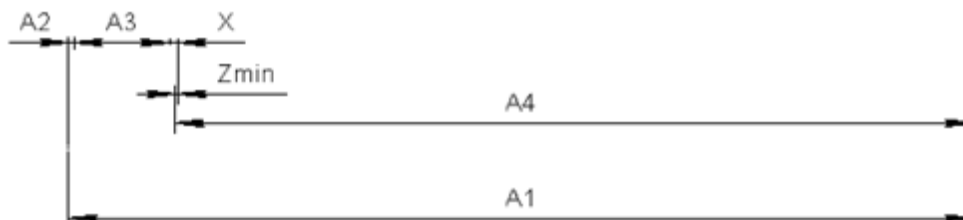


Рис 3.1 Размерная цепь

Величину листа рассчитываем по размерной цепи (3.10).

$$X = A_1 - A_4 + z_{\min} - A_3 - A_2 \quad (3.10)$$

$$X = 1598,2 - 1410 + 4,42 - 168 - 10 = 14,62 \text{ мм.}$$

Принимаем значение листа 15 мм.

Определяем предельные отклонения для листа 15 по формуле (3.11):

$$\Delta B_{\Sigma} = \sum \Delta B_{\text{ув}} - \sum \Delta H_{\text{ум}}; \quad (3.11)$$

$$\Delta H_{\Sigma} = \sum \Delta H_{\text{ув}} - \sum \Delta B_{\text{ум}}; \quad (3.12)$$

$$\Delta B_{\Sigma} = 5,3 - (0,9 + 1 + 3) = 0,4 \text{ мм};$$

$$\Delta B_{\Sigma} = 4,2 - (0,2 + 1 + 3) = 0 \text{ мм.}$$

По ГОСТ выбираем лист  $15^{+0,4}$  мм.

Технологическая себестоимость заготовки  $S_T$ , руб., определяется по формуле (3.6):

$m = 24,1$  кг – масса детали;

$C_3 = 34,5$  руб. – стоимость 1 кг материала заготовки;

$m_3 = 50,4$  кг.

$$K_{\text{им}} = \frac{24,1}{50,4} = 0,3,$$

$$S_j^I = \frac{24,1}{0,3} \cdot [34,5 + 5,445 \cdot (1 - 0,3)] = 3077,7 \text{ руб.}$$

Так как нам необходимо изготовить таких 8 листов, получаем:

$$S_j^I = 24621,6 \text{ руб.}$$

3.1.4.3 Рассчитаем припуск на обработку поверхности 4 по формуле [29].

Материал детали 09Г2С.

$$z = (R_z + h + \Delta_{\varepsilon} + \varepsilon), \quad (3.13)$$

где  $R_z$  – высота неровностей профиля;

$h$  – глубина дефектного поверхностного слоя;

$\varepsilon$  – точность центрирования четырехкулачкового патрона;

$\Delta_{\Sigma}$  – суммарные отклонения расположения поверхностей.

$$z = (0,05 + 0,75 + 3,2 + 2) = 6 \text{ мм.}$$

Так как после механической обработки нужно получить лист 8 мм, то учитывая припуск, получаем:

$$8+6=14\text{мм.}$$

Выбираем лист 14 мм, 1580x1580 мм.

Технологическая себестоимость заготовки  $S_T$  в рублях определяется по формуле (3.6):

$m = 9$  кг – масса детали;

$C_3 = 34,5$  руб. – стоимость 1 кг материала заготовки;

$C_C = 5,445$ руб/кг стоимость срезания 1 кг стружки при механической обработке в среднем по машиностроению.

Для определения коэффициента использования материала необходимо определить массу заготовки. Массу заготовки  $m$  в килограммах определяем при помощи программы Компас V-15.

$$m_3 = 16,3 \text{ кг.}$$

$$K_{\text{им}} = \frac{9}{16,3} = 0,55,$$

$$S_j^I = \frac{9}{0,55} \cdot [34,5 + 5,445 \cdot (1 - 0,55)] = 604,6 \text{ руб.}$$

Так как нам необходимо изготовить таких 4 листа, получаем:

$$S_j^I = 2418,6 \text{ руб.}$$

### 3.1.5 Составление технологического маршрута обработки

Маршрут обработки корпуса внешнего представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Маршрут обработки

№ операции	Наименование и содержание операции	Оборудование
1	2	3
005	<p>Токарная</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Установить заготовку на планшайбу;</li> <li>- Выверить положение заготовки по поверхности К, обеспечивая биение не более 4мм, и торцу А, обеспечивая биение не более 5 мм;</li> <li>- Закрепить заготовку;</li> <li>- Подрезать торец 1 предварительно, выдерживая размер 33<sub>-1</sub>;</li> <li>- Подрезать торец 1 окончательно, выдерживая размер 30<sub>-1</sub>;</li> <li>- Расточить поверхность 2 и 3 предварительно, выдерживая размер 2814± 2;</li> <li>- Расточить поверхность 2 и 3 окончательно, выдерживая размер 2810<sup>+2</sup><sub>+1</sub>;</li> </ul>	Токарно-карусельный станок 1550

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Подрезать торец 4 предварительно, выдерживая размер <math>615 \pm 1</math>;</li> <li>- Подрезать торец 4 окончательно, выдерживая размер <math>612 \pm 0,5</math> выдерживая радиальное биение относительно оси <math>0,1 \text{ мкм}</math>;</li> <li>- Снять заготовку.</li> </ul>	
010	<p>Горизонтально – расточная</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Установить заготовку на стол станка;</li> <li>- Выверить положение заготовки по торцу 3, обеспечивая отклонение от перпендикулярности оси шпинделя не более <math>0,5 \text{ мм}</math>;</li> <li>- Закрепить заготовку прихватами;</li> <li>- Коснуться щупом поверхности Л в трех точках;</li> <li>- Установить 0 детали в направлении Z и X;</li> <li>- Коснуться щупом поверхности 3;</li> <li>- Установить 0 детали в направлении Y;</li> <li>- Установить 0 детали в направлении C, совмещая ноль с плоскостью M;</li> <li>- Ввести программу в устройство ЧПУ станка;</li> <li>- Сверлить 88 сквозных отверстий выдерживая размер <math>\varnothing 21 \text{ H}13</math> с образованием фасок;</li> <li>- Нарезать резьбу внутреннюю M24-7H в 88 отверстиях;</li> <li>- сверлить 4 отверстия 1 предварительно выдерживая размер <math>\varnothing 55 \text{ H}13</math>;</li> <li>- расточить 4 отверстия предварительно выдерживая размер <math>\varnothing 59,5 \text{ H}9</math>;</li> <li>- расточить 4 отверстия окончательно выдерживая размер <math>\varnothing 60 \text{ H}7(+0,03)</math>;</li> <li>- Контролировать межосевое расстояние и диаметр отверстия <math>\varnothing 60 \text{ H}7</math> в измерительном цикле станка;</li> <li>- Снять заготовку.</li> </ul>	Фрезерно- расточной станок с ЧПУ WRD 150(Q)
015	<p>Разборка</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнить разборку по технологическому процессу ФЮРА.02118.30110</li> </ul>	Кран мостовой однобалочный 1-А-3,5-10,5-6-220(п) ГОСТ 22045-89

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3
045	Контроль	Стол сборочный ФЮРА.296379.010
050	Консервация	Стол сборочный ФЮРА.296379.010

### 3.1.6 Выбор баз

Выбор технологических баз в значительной степени определяет точность линейных размеров поверхностей, полученных в процессе обработки, выбор режущего и мерительного инструмента, станочных приспособлений, производительность обработки.

В качестве технологических баз при обработке корпуса внешнего используются следующие поверхности.

Операция 005 Токарная.

Базирование осуществляется в специальном приспособлении с выверкой по поверхности К, обеспечивая биение не более 4 мм, и торцу А, обеспечивая биение не более 5 мм.

Погрешность базирования на выполняемые размеры:

-размер  $30_{-1}$  и  $612 \pm 0,5$   $\varepsilon_6 = 1$  мм;

-размер  $2820_{+1}^{+2}$   $\varepsilon_6 = 0$  мм.

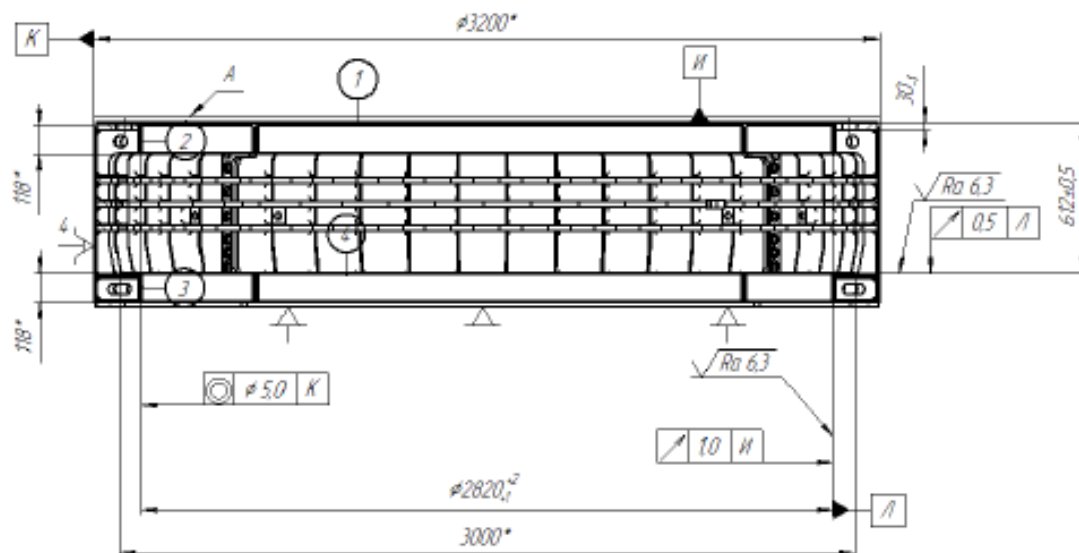


Рисунок 3.2 Схема базирования операции 005

Операция 010 Горизонтально-расточная.

Базирование осуществляется на столе станка (угольнике) с выверкой по торцу 3, обеспечивая отклонение от перпендикулярности оси шпинделя не более

0,5 мм. После закрепления заготовки прихватами коснуться щупом поверхности Л в трех точках и установить 0 детали в направлении Z и X. Коснуться щупом поверхности 3 и установить 0 детали в направлении Y, установить 0 детали в направлении С совмещая ноль с плоскостью М.

Погрешность базирования на выполняемые размеры:

- размер диаметрами 60H7 и 21H13  $\varepsilon_6=0$ , так как отверстия обрабатываются осевым инструментом;
- линейные размеры отверстий диаметром 60H7 и диаметром 21H13  $\varepsilon_6=0$ , так как отверстия сквозные;
- линейные размеры расположения отверстия диаметром 60H7  $\varepsilon_6=0$ , так как присутствует совмещение баз.

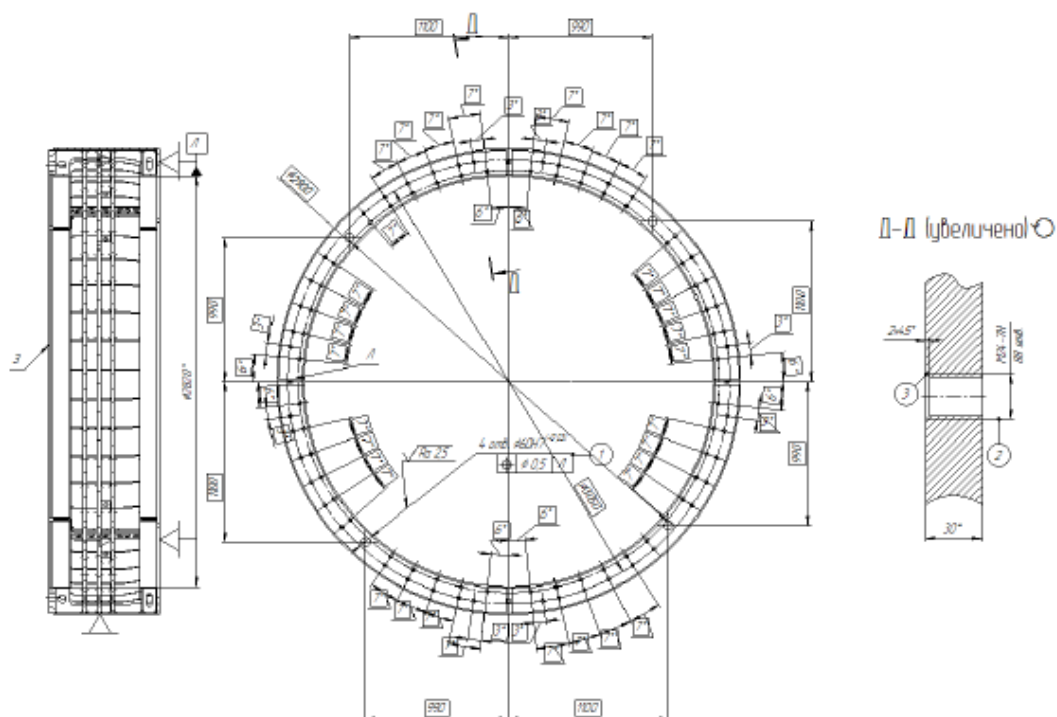


Рисунок 3.3 Схема базирования операции 010

### 3.1.7 Выбор средств технологического оснащения

Выбор средств технологического оснащения представлен в таблицах 3.6 – 3.7.

Таблица 3.6 – Токарно-карусельный станок модели 1550 с УЦИ

Класс точности	Н
Высота устанавливаемого изделия, мм	2500
Диаметр устанавливаемого изделия, мм	4500
Диаметр планшайбы, мм	4500
Мощность главного привода, кВт	125
Число подач суппортов по каждой оси	бесступенчатое регулирование

Продолжение таблицы 3.6

Пределы подач, мм/об	0,06-470
Скорость установочных перемещений суппортов, мм/ мин	3125
Число скоростей планшайбы	бесступенчатое регулирование
Частота вращения планшайбы, об/мин	0,34-31,2
Мощность привода планшайбы, кВт	125
Габариты станка (Д x Ш x В), мм	6600x11400x8400
Масса станка, кг	141500

Таблица 3.7 – Фрезерно- расточной станок с ЧПУ WRD 150(Q)

Диаметр рабочего шпинделя, мм	150
Диапазон оборотов рабочего шпинделя, мин <sup>-1</sup>	10-2500
Мощность главного двигателя, кВт	51
Номинальная мощность главного двигателя, кВт	65
Размер ползуна, мм	450x450
Поперечная перестановка стойки X, мм	5000-27000
Выдвиг ползуна Z, мм	1000
Выдвиг рабочего шпинделя W, мм	800
Диапазон рабочих подач X,Y,Z,W,мм.мин <sup>-1</sup>	1-8000
Ускоренная подача, мм.мин <sup>-1</sup> (X x Y x Z,W)	(20000x16000x12000)

Технологическая оснастка для изготовления внешнего корпуса представлена в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Технологическая оснастка.

№ операции и название операции.	Оснастка
1	2
005 токарная	<ul style="list-style-type: none"> <li>- приспособление специальное;</li> <li>- державка специальная;</li> <li>- державка SCACR/L 1010K06S фирмы Sandvik Coromant;</li> <li>- пластина CCMT 06 02 08-KR фирмы Sandvik Coromant;</li> <li>- пластина TNMX 16 04 04-WF фирмы Sandvik Coromant;</li> <li>- ШЦ-III-3000/200-0,02;</li> <li>- ШГ-200-0,05 ГОСТ 162-90;</li> <li>- Щуп 7053-001 ГОСТ 8925-68;</li> </ul>

Продолжение таблицы 3.8

1	2
	- индикатор ИЧ 25кл.1 ГОСТ 577-68; - Угольник УШ-0-1000 ГОСТ 3749-77; - очки защитные открытые 02-76-У ГОСТ 12.4.013-85.
010 фрезерно-расточная	- приспособление специальное угольник; - патрон СЗ-390.140-50 060 фирмы Sandvik Coromant; - сверло R411.5-21034D21.00 фирмы Sandvik Coromant; - метчик E447M24 фирмы Sandvik Coromant; - сверло 880-D5500L40-02 фирмы Sandvik Coromant; - пластина 880-05 03 05H-C-GM фирмы Sandvik Coromant; - пластина 880-04 03 05H-C-GM фирмы Sandvik Coromant; - расточная оправка R820C-AR16SSYC09A фирмы Sandvik Coromant; - корпус С6-R820C-AA3104A фирмы Sandvik Coromant; - расточная оправка R825C-AF23STUP1103A фирмы Sandvik Coromant; - пластина SNMG 12 04 08-XMR фирмы Sandvik Coromant; - увеличительная проставка 825C-048A фирмы Sandvik Coromant; - пластина TNMG 16 04 04-XF фирмы Sandvik Coromant; - щуп измерительный WRD.

### 3.1.8 Расчет припусков

Расчет припусков проводим аналитическим методом. Данный метод основан на определении минимального припуска, который определяется по формуле [29]:

для односторонней обработки  $Z_{\min}$ , мкм, определяется по формуле (3.14):

$$z_{\min} = R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\sum_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (3.14)$$

для двухсторонней обработки  $2 \cdot Z_{\min}$ , мкм, определяется по формуле (3.15):

$$2 \cdot z_{\min} = 2 \cdot (R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\sum_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (3.15)$$

где  $R_{z_{i-1}}$  – шероховатость поверхности, получаемая на предшествующем технологическом переходе;

$\Delta_{\sum_{i-1}}$  – суммарное пространственное отклонение, полученное на предшествующем технологическом переходе;

$\varepsilon_i$  – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Для удобства расчета данным методом предусмотрено заполнение специальной таблицы.

Последовательность заполнения таблицы:



- заполняем первый столбец таблицы, в котором указываем технологические переходы в принятой последовательности;
- для каждого перехода находим значения каждой составляющей формулы;
- по вышеуказанной формуле находим  $Z_{\min}$  для всех переходов;
- для конечного перехода записываем наименьший предельный размер по чертежу;
- для предшествующих переходов определяем расчетный размер, прибавляя к нему  $Z_{\min}$ ;
- записать минимальные предельные размеры по всем переходам, округляя их увеличением до знака допуска;
- определить максимальные предельные размеры, прибавляя допуск на соответствующий размер;
- определить  $Z_{\max}$  как разность максимальных размеров,  $Z_{\min}$  как разность минимальных размеров;
- определить общий максимальный и минимальный припуск;
- проверяем правильность расчета по правилу: разница допусков должна быть равна разнице припусков.

Применяем данный метод для расчета поверхности диаметром  $2028_{+1}^{+2}$  на 005 операции представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Расчет поверхности

Лист		Rz=200	h=200
Растачивание предварительное	$2814_{-2}^{+2}$	Rz=50	h=50
Точение чистовое	$2820_{+1}^{+2}$	Rz=25	h=25

Суммарное значение пространственных отклонений для заготовки  $\Delta_{\Sigma}=500$  мкм.

Остаточная величина пространственного отклонения после предварительной обработки определяется по формуле (3.16):

$$\Delta_i = K_y \cdot \Delta_{i-1}, \quad (3.16)$$

где  $K_y$  – коэффициент уточнения формы.

$K_{y1} = 0,06$  – для растачивания предварительного.

$$\Delta_1 = K_{y1} \cdot \Delta_3 = 0,06 \cdot 500 = 30 \text{ мкм.}$$

Коэффициентом  $K_y$  для остальных видов обработки пренебрегаем.

Погрешность установки  $\varepsilon = 0$ .

Далее производится расчёт минимальных значений межоперационных припусков.

Минимальный припуск под растачивание предварительное:

$$2 \cdot z_{\min} = 2 \cdot (200 + 200 + \sqrt{500^2 + 0^2}) = 1800 \text{ мкм.}$$

Минимальный припуск под растачивание чистовое:

$$2 \cdot z_{\min} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{30^2 + 0^2}) = 260 \text{ мкм.}$$

Графа «расчётный размер» ( $d_p$ ) заполняется, начиная с конечного, в данном случае чертёжного размера, последовательным вычитанием расчётного минимального припуска каждого технологического перехода.

$d_p = 2822\text{мм}$  – для чистового растачивания;

$d_p = 2822 - 0,26 = 2821,74\text{ мм}$  – для предварительного растачивания;

$d_p = 2821,798 - 1,8 = 2819,94\text{ мм}$  – для заготовки.

Округляем рассчитанные максимальные размеры до знака допуска  $T_d$  и заносим в таблицу.

Полученные значения заносим в таблицу 3.10.

Элементарная поверхность детали и технологический маршрут ее обработки	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2 \cdot Z_{\min p}$ , мкм	Расчетный размер $d_p$ , мм	Допуск на изготовление $T_d$ , мкм	I p п
	$R_z$	h	$\Delta$	$\varepsilon$				
Диаметр $2820^{+2}_{+1}$								
Заготовка	200	200	500	–	–	2819,94	7000	2820
Растачивание предварительное	50	50	0,78	0	1800	2821,74	4000	2820
Растачивание чистовое	25	25	–	0	260	2822	1000	2820
Проверка расчета: $T_{d_{\text{заг}}} - T_{d_{\text{дет}}} = 6000 = 2 \cdot Z_{\text{омакс}} - 2 \cdot Z_{\text{оминос}} = 8000 - 2000$ .								
Диаметр 60H7								
Сверление H13	50	70	28,9	100	–	59,5298	460	59,0
Растачивание предварительное H9	50	50	1,16	0	148,9	59,8276	74	59,7
Растачивание окончательное H7	10	20	0,02	0	101,2	60,03	30	60
Проверка расчета: $Z_{\text{омакс}} - Z_{\text{оминос}} = 930 - 500 = 430 = T_{d_{\text{заг}}} - T_{d_{\text{дет}}} = 460 - 30 = 430$ .								

### 3.1.9 Расчет режимов резания

Назначение режимов резания на обработку корпуса внешнего произведем при помощи онлайн программы Sandvik Coromant [30]. Полученные значения представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Режимы резания

Операция	Режимы резания	Источник
1	2	3
005	<p>1) Подрезать торец предварительно выдерживая размер 33<sub>-1</sub>  Глубина резания <math>t=7</math> мм;  Подача <math>S=0,45</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=85</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=8</math> об/мин;  Сила резания <math>P_z=5441,5</math> Н;  Мощность резания <math>N=5,2</math> кВт;  Основное время <math>T_o=24,89</math> мин;</p> <p>2) Подрезать торец окончательно выдерживая размер 30<sub>-1</sub>  Глубина резания <math>t=3</math> мм;  Подача <math>S=0,15</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=65</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=7</math> об/мин;  Сила резания <math>P_z=942,03</math> Н;  Мощность резания <math>N=1,5</math> кВт;  Время <math>T_o=43,08</math> мин;</p> <p>3) Расточить поверхность предварительно выдерживая размер <math>2814\pm 2</math> мм  Глубина резания <math>t=7</math> мм;  Подача <math>S=0,45</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=100</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=11</math> об/мин;  Сила резания <math>P_z=5441,5</math> Н;  Мощность резания <math>N=14</math> кВт;  Основное время <math>T_o=29,54</math> мин;</p> <p>4) Расточить поверхность окончательно выдерживая размер <math>2820\pm 2</math> мм  Глубина резания <math>t=3</math> мм;  Подача <math>S=0,15</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=120</math> м/мин;</p>	онлайн программа Sandvik Coromant

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3
	<p>Число оборотов шпинделя <math>n=13</math> об/мин;  Сила резания <math>P_z=891,7</math> Н;  Мощность резания <math>N=3,2</math> кВт;  Основное время <math>T_o=51,95</math> мин;</p> <p>5) Подрезать торец предварительно выдерживая размер <math>615 \pm 1</math> мм  Глубина резания <math>t=7</math> мм;  Подача <math>S=0,45</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=60</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=7</math> об/мин;  Сила резания <math>P_z=5441,5</math> Н;  Мощность резания <math>N=5,2</math> кВт;  Основное время <math>T_o=24,89</math> мин;</p> <p>6) Подрезать торец окончательно выдерживая размер <math>612 \pm 0,5</math> мм  Глубина резания <math>t=3</math> мм;  Подача <math>S=0,15</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=65</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=7</math> об/мин;  Сила резания <math>P_z=942,03</math> Н;  Мощность резания <math>N=1,5</math> кВт;  Основное время <math>T_o=43,08</math> мин;</p>	
010	<p>1) Сверлить 88 сквозных отверстий выдерживая размер диаметр 21Н13 с образованием фасок  Глубина резания <math>t=10,5</math> мм;  Подача <math>S=0,35</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=80</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=1213</math> об/мин;  Сила резания <math>P=4339</math> Н;  Крутящий момент <math>M_{кр}=49</math> Н·м;  Мощность резания <math>N=6,3</math> кВт;  Основное время <math>T_o=12,44</math> мин;</p> <p>2) Нарезать резьбу внутреннюю М24-7Н в 88 отверстиях  Скорость резания <math>V=6</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=180</math> об/мин;  Крутящий момент <math>M_{кр}=7</math> Н·м;  Мощность резания <math>N=2</math> кВт;  Основное время <math>T_o=4,8</math> мин;</p>	

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3
	<p>3)Сверлить 4 отверстия 1 предварительно выдерживая размер диаметр 55Н13  Глубина резания <math>t=27,5</math>мм;  Подача <math>S=0,1</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=120</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=694</math> об/мин;  Сила резания <math>P=4878</math> Н;  Крутящий момент <math>M_{кр}=108</math> Н·м;  Мощность резания <math>N=8</math> кВт;  Основное время <math>T_o=1,73</math> мин;</p> <p>4)Расточить предварительно выдерживая размер диаметр 59,5Н9  Глубина резания <math>t=2,25</math> мм;  Подача <math>S=0,15</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=105</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=562</math>об/мин;  Сила резания <math>P_z=809,46</math> Н;  Мощность резания <math>N=2</math> кВт;  Основное время <math>T_o=1,44</math> мин;</p> <p>5)Расточить 4 отверстия окончательно выдерживая размер диаметр 60Н7(+0,03)  Глубина резания <math>t=0,25</math> мм;  Подача <math>S=0,1</math> мм/об;  Скорость резания <math>V=180</math> м/мин;  Число оборотов шпинделя <math>n=850</math>об/мин;  Сила резания <math>P_z=2975,09</math> Н;  Мощность резания <math>N=0,3</math> кВт;  Основное время <math>T_o=1,43</math> мин;</p>	

### 3.2 Конструкторская часть

Приспособление для установки внешнего корпуса на станке представлено в приложении С. Установка детали в приспособление ФЮРА 300.090.001СБ токарно-карусельного станка модели 1550 с УЦИ операции 005 обеспечивает закрепление определенного положения детали относительно режущего инструмента, позволяет вести обработку с достаточно высокой точностью и с малыми затратами времени.

Данное приспособление устанавливается на стол токарно-карусельного станка модели 1550, выверяется расположение приспособления по ранее нанесенным рискам и закрепляется в Т-образные пазы с помощью болтов позиции 5. Обрабатываемая деталь устанавливается на три регулирующие

опоры позиции 16 и одну постоянную опору позиции 15, центрируется четырьмя кулачками позиции 21. Закрепление осуществляется устройством, состоящим из откидного болта позиции 8, талрепа позиции 1 и стойки позиции 2. Приспособление обеспечивает надежное закрепление детали на станке.

### 3.2.1 Силовой расчет и выбор параметров привода

В данном случае сила зажима перпендикулярна силе резания [32].

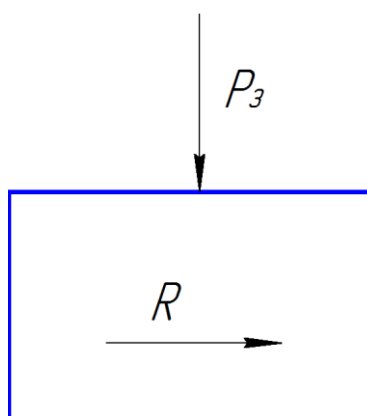


Рисунок 3.4 Схема сил

Для определения силы зажима из расчетов режимов резания выбираем наибольшую силу резания на данной операции:

$R=5441,5$  Н – при точении.

Сила зажима определяется по формуле (3.17)[32]:

$$P_3 = \frac{KR}{(f_1 + f_2)}, \quad (3.17)$$

где  $R$  – сила резания (в нашем случае  $R=5441,5$ Н);

$K$  – коэффициент запаса, учитывающий нестабильность силовых воздействий на заготовку, который рассчитывается по формуле (3.18) [32]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (3.18)$$

где  $K_0=1,5$  – коэффициент гарантированного запаса,

$K_1 = 1,2$  – коэффициент неровностей;

$K_2 = 1$  – характеризует увеличение сил резания из-за затупления инструмента[32];

$K_3 = 1,0$  – характеризует увеличение сил резания при прерывистом резании[3];

$K_4 = 1,3$  – т. к. зажим ручной[32];

$K_5 = 1,0$  – коэффициент, характеризующий эргономику приспособления;

$K_6 = 1,5$  [32];

$K=1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5=3,51$ .

Сила, необходимая для зажима:

$$P_3 = (5441,5 \cdot 3,51) / (0,2 + 0,16) = 53054,6 \text{ Н.}$$

При известной силе  $P_3$  вычисляют номинальный диаметр прижимного винта по формуле (3.19) [32]:

$$d = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{P_3}{\sigma_p}}, \quad (3.19)$$

где  $\sigma_p$  – напряжение материала винта, равное 100 МПа.

$$d = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{53054,6}{100}} = 32 \text{ мм.}$$

Т.к. в зажиме участвуют четыре прихвата, конструктивно принимаем  $d = 36$  мм.

### 3.2.2 Расчет приспособления на точность

При расчёте приспособления на точность необходимо определить погрешность установки заготовки в приспособлении, которая определяется как:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{3,0}^2} + \varepsilon_{3,и} + \varepsilon_{и} + \varepsilon_{y,c} + \varepsilon_c \text{ мм}, \quad (3.20)$$

где  $\varepsilon_6$  – погрешность базирования, мм;

$\varepsilon_{3,0}$  – основная погрешность закрепления, мм;

$\varepsilon_{3,и}$  – систематические составляющие погрешности закрепления, мм;

$\varepsilon_{и}$  – погрешность положения, связанная с износом установочных элементов, мм;

$\varepsilon_{y,c}$  – погрешность положения, связанная с погрешностью изготовления и сборки опор приспособления, мм;

$\varepsilon_c$  – погрешность положения, связанная с погрешностью установки и фиксации приспособления на станке, мм;

Погрешность базирования равна 0.

Определяем погрешности закрепления.

В соответствии с [33] для опор с плоской головкой:

$$\varepsilon_{3,и} = 0$$

$$\varepsilon_{3,0} = \sqrt{(\varepsilon_3^I)^2 + (\varepsilon_3^{II})^2 + (\varepsilon_3^{III})^2}. \quad (3.21)$$

Исходные данные принимаем по [33].

В результате расчётов при помощи системы MathCAD 2000 получены значения:

$$\varepsilon_3^I = 6,01 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_3^{II} = 374,70 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_3^{III} = 0 \text{ мкм.}$$

$$\varepsilon_{3,0} = \sqrt{6,01^2 + 374,70^2 + 0^2} = 374,75 \text{ мкм.}$$

Находим погрешности положения, вызванные износом опорных элементов [33].

Определяем твёрдость опор:  $HV = 615 \dots 717$  [33].



Находим критерий износостойкости:  $\Pi_1 = 1,03$  [33].

Определяем силу, действующую по нормали на опору:  $Q = 53054,6$  Н.

Номинальная площадь касания с базой заготовки:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2), \quad (3.22)$$

где  $D = 40$  мм – диаметр опоры;

$d = 20$  мм – диаметр отверстия.

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (32^2 - 20^2) = 489 \text{ мм}^2.$$

$$F = 489 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Определяем критерий нагружения опор:

$$\Pi_2 = \frac{Q}{F \cdot HV}, \quad (3.23)$$

$$\Pi_2 = \frac{53054,6}{489 \cdot 10^{-6} \cdot 666} = 162907.$$

Износостойкость опор определяем по [33]:  $C = 750$  установок/мкм.

Определяем поправочные коэффициенты.

Коэффициент, учитывающий время неподвижного контакта заготовки с опорами:

$$K_t = 0,76 \cdot t, \quad (3.24)$$

где  $t_M = 0,84$  мин – основное время на операции.

$$K_t = 0,76 \cdot 229,96 = 174,8$$

Коэффициент, учитывающий влияние пути скольжения заготовки по опорам:  $K_L = 1$

Коэффициент, учитывающий условия обработки:  $K_y = 1,0$

Общий коэффициент определяется по формуле (3.25):

$$K = K_t \cdot K_L \cdot K_y \quad (3.25)$$

$$K = 174,8 \cdot 1 \cdot 1 = 174,8.$$

Вычисляем фактическую износостойкость по формуле (3.26):

$$C_\phi = \frac{C}{K}, \quad (3.26)$$

$$C_\phi = \frac{750}{174,8} = 4,29.$$

Находим нормальный износ опоры определяется по формуле (3.27):

$$И = \frac{N}{C_\phi}, \quad (3.27)$$

где  $N$  – количество установок до замены опоры.

Принимаем равным количеству деталей, обрабатываемых в год:

$$N = 32 \text{ шт.}$$

$$И = \frac{32}{4,29} = 7,45 \text{ мкм.}$$

$$\varepsilon_{и} = 7,45 \text{ мкм.}$$

Остальные погрешности принимаем равными нулю, так как они компенсируются наладкой станка.

$$\varepsilon_y = \sqrt{0^2 + 374,75^2} + 0 + 7,45 + 0 + 0 = 382,2 \text{ мкм.}$$

Приспособление удовлетворяет требованиям точности, т. к. погрешность установки не превышает допуска на выполняемые размеры 1000 мкм.

### 3.3 Организационная часть

#### 3.3.1 Нормирование

Нормирование операций механической обработки производится по общемашиностроительным нормативам времени [31].

Штучно-калькуляционное время  $T_{шт-к}$ , мин, определяется по формуле (3.28):

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-3}}{n}, \quad (3.28)$$

где  $T_{шт}$  – норма штучного времени, мин;

$T_{п-3}$  – норма подготовительно-заключительного времени, мин.

Штучное время  $T_{шт}$ , мм, для операции 010 определяется по формуле (3.29):

$$T_{шт} = (T_0 + T_B \cdot K_{в}) \cdot \left( 1 + \frac{A_{обс} + A_{отд}}{100} \right), \quad (3.29)$$

где  $T_0$  – основное время на обработку одной детали, мин;

$T_B$  – вспомогательное время, мин;

$K_{в}$  – поправочный коэффициент вспомогательного времени;

$A_{обс}$  – время на обслуживание рабочего места, %;

$A_{отд}$  – время на отдых и личные надобности, %.

Штучное время  $T_{шт}$ , мм, для операции 005 определяется по формуле (3.30):

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_B \cdot K_{в}) \cdot \left( 1 + \frac{A_{обс} + A_{отд}}{100} \right), \quad (3.30)$$

где  $T_{ца}$  – время цикла автоматической работы станка, мин.

$$T_{ца} = T_0 + T_{мв}, \quad (3.31)$$

где  $T_{мв}$  – машинно - вспомогательное время по программе (на подвод детали или инструмента от исходных точек в зоны обработки и отвод; установку инструмента на размер, смену инструмента, изменения и направления подачи, время технологических пауз), мин.

Вспомогательное время определяется по формуле (3.32):

$$T_B = T_{уст} + T_{пер} + T_{изм}, \quad (3.32)$$

где  $T_{уст}$  – время на установку и снятие детали, мин;

$T_{пер}$  – время, связанное с переходом, мин;

$T_{изм}$  – время на измерение, мин.

Подготовительно-заключительное время определяется по формуле (3.33):

$$T_{п-3} = T_{п-31} + T_{п-32}, \quad (3.33)$$

где  $T_{П-31}$  – время на наладку станка, мин;  
 $T_{П-32}$  – время на получение инструмента и приспособления до начала и сдачи их после окончания обработки, мин;  
Нормирование операций механической обработки представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Нормирование операций

№ оп.	Содержание операции	Время, мин
1	2	3
005	Токарная	
	1. Основное время	216,47
	2. Вспомогательное время	
	Время на установку и снятие детали	17
	Время на контрольное измерение	3,3
	Время на переход	10,12
	Время на перемещение детали	3,7
	Суммарное вспомогательное время	45
	3. Время на обслуживание рабочего места	6,5% от основного
	4. Время на отдых и личные надобности	4% от основного
	5. Подготовительно - заключительное время на партии	
	На наладку станка, инструмента и приспособлений	29
	На получение инструмента перед началом работы и сдача их после окончания работы	10
	Время на дополнительные приемы и сдачу их после окончания обработки	5
Суммарное подготовительно-заключительное время	44	
6. Штучное время	320,72	
7. Штучно-калькуляционное время	324,72	
010	Фрезерно расточная с ЧПУ	
	1. Основное время	218,4
	2. Вспомогательное время	
	Время на установку и снятие детали	5,4
	Время на контрольное измерение	16
	Время на переход	7,28
	Время на приемы, не вошедшие в комплекс	0,67
	Суммарное вспомогательное время	38,7
	3. Время цикла автоматической работы станка	220,9
	4. Время на обслуживание рабочего места	4,5% от основного
	5. Время на отдых и личные надобности	4% от основного
6. Подготовительно-заключительное время на партии		
На наладку станка, инструмента и приспособлений	31	

Продолжение таблицы 3.12

1	2	3
	На получение инструмента перед началом работы и сдача их после окончания работы	10
	Суммарное подготовительно-заключительное время	41
	7. Штучное время	307,81
	8. Штучно-калькуляционное время	311,54

### 3.3.2 Расчет необходимого количества оборудования и коэффициентов его загрузки

Расчетное количество станков для обработки годовой программы деталей  $C_p$  в штуках определяется по формуле (3.34):

$$C_p = \frac{T_{шт-к} \cdot N}{60 \cdot F_d} \quad (3.34)$$

Полученное значение округляют до ближайшего целого большего числа. Коэффициент загрузки оборудования  $K_3$  определяется по формуле (3.35):

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{п}} \quad (3.35)$$

где  $C_{п}$  – принятое количество станков для обработки годовой программы.

Все полученные данные сведены в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 – Количество оборудования и коэффициент его загрузки

Операция	$T_{шт-к}$ , мин	$C_p$	$C_{п}$	$K_3$	$Ч_p$
005 Токарная с ЧПУ	324,72	0,70	1	0,70	1
010 Фрезерно расточная с ЧПУ	308,96	0,68	1	0,68	1

$Ч_p$  – количество рабочих.

Среднее значения коэффициента загрузки оборудования равно:  $K_{зср}=0,69$ .

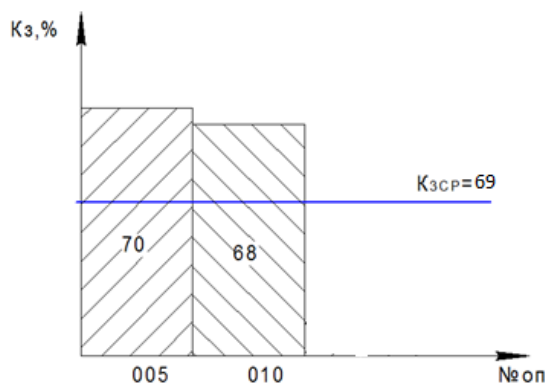


Рисунок 3.5 График загрузки оборудования

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЁННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Студент гр. 10300

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А.А.Солдатова

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Руководитель  
к.т.н, доцент кафедры ТМС

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А.В.Вальтер

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Нормоконтроль  
к. т. н., доцент кафедры ТМС

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А.А.Ласуков

\_\_\_\_\_  
(Дата)

#### 4.1 Исследование математической модели.

Для определения факторов, влияющих на точность формы оболочек секций и вывода аналитических выражений, устанавливающих данные связи, составлена расчетная схема к модели формирования погрешности формы оболочки (рисунок 4.1).

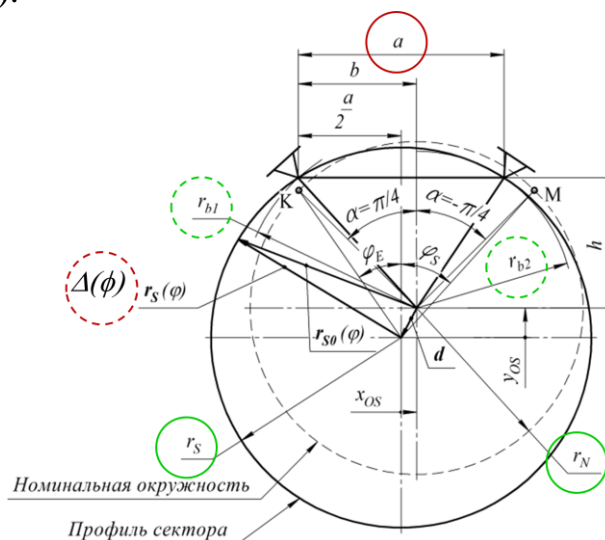


Рисунок 4.1 Модель формирования геометрических погрешностей оболочек при сборке корпусов геохода

Сделав анализ модели можно сделать вывод, что на отклонение профиля сектора от номинальной окружности оказывают влияние следующие факторы:

- радиус номинальной окружности ( $r_N$ );
- действительный радиус сектора ( $r_s$ );
- действительные расстояния от центра номинальной окружности до опор ( $r_{b1}$  и  $r_{b2}$ );
- расстояние между опорами ( $a$ ).

Рассмотрим влияние перечисленных факторов на отклонение профиля сектора от номинальной окружности. Поскольку радиус номинальной окружности ( $r_N$ ) является величиной постоянной для рассматриваемого предмета производства, в дальнейших расчетах будем принимать его равным  $r_N=1600$  мм в соответствии с параметрами геохода ФЮРА. 612322.401.0.00.000 [34]. В случае неравенства радиуса номинальной окружности и действительного радиуса сектора ( $r_N \neq r_s$ ) неизбежно будет возникать отклонение профиля сектора. Причем, как отмечалось выше, отклонение является непостоянным для различных участков дуги сектора. На рисунке 4.2 приведена зависимость отклонения профиля сектора от полярного угла  $\varphi$ .

Из графика, изображенного на рисунке 4.2, видно, что на характер зависимости существенное влияние оказывают действительные расстояния от центра номинальной окружности до опор.

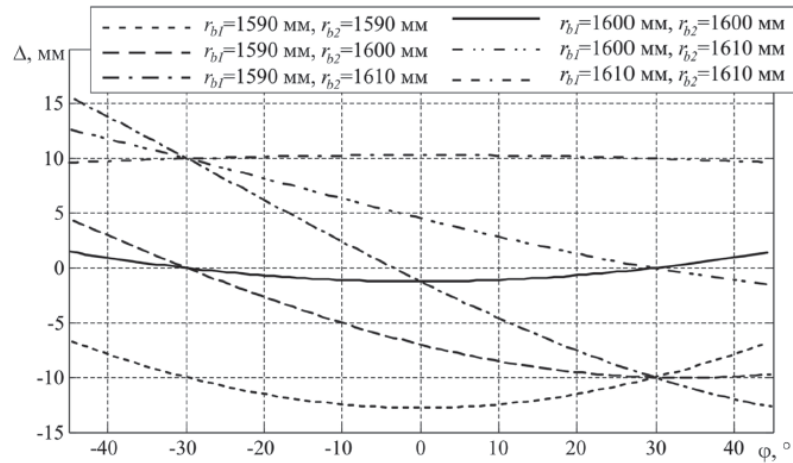


Рисунок 4.2 Зависимость отклонения профиля сектора от полярного угла ( $r_N = 1600$  мм,  $r_S = 1608$  мм,  $a = 1600$  мм)

На рисунке 4.3 показана зависимость максимального значения отклонения профиля сектора от радиуса сектора. Нарушения непрерывности некоторых из приведенных зависимостей связаны с переходом экстремальных отклонений с середины сектора на его периферию, или наоборот.

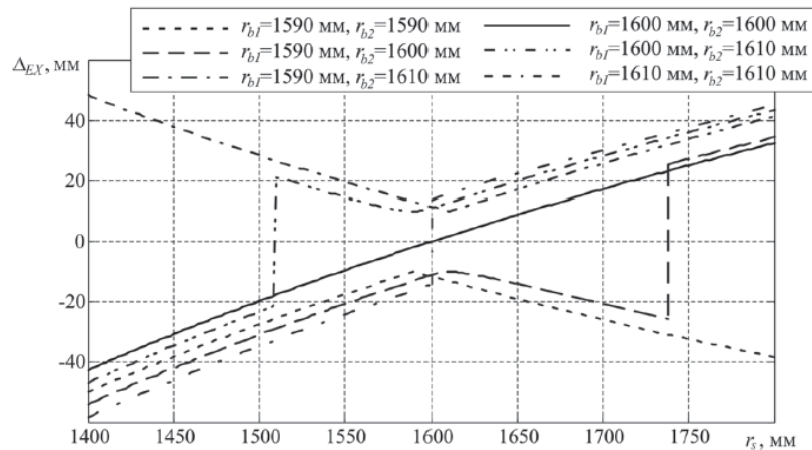


Рисунок 4.3 Зависимость экстремального отклонения профиля сектора от радиуса сектора ( $r_N = 1600$  мм,  $a = 1600$  мм)

На рисунке 4.4 приведена зависимость максимального значения отклонения профиля сектора от расстояния между опорами. Как следует из графика, для определенных соотношений  $r_{b1}$  и  $r_{b2}$  существуют некоторые значения расстояния между опорами, обеспечивающие наименьшую величину отклонений профиля.

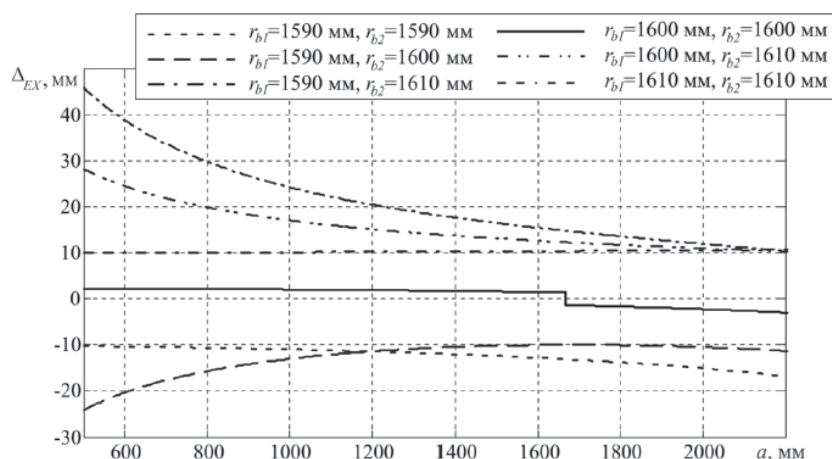


Рисунок 4.4 Зависимость экстремального значения отклонения профиля сектора от расстояния между опорами ( $r_N = 1600$  мм,  $r_S = 1608$  мм)

На основании графика, представленного на рисунке 4.5, можно заключить, что есть некоторое значение расстояния  $a$ , при котором максимальное значение отклонения профиля сектора минимально, причем данное значение мало отличается для различных значений допусков  $T_s$  и  $T_b$ .

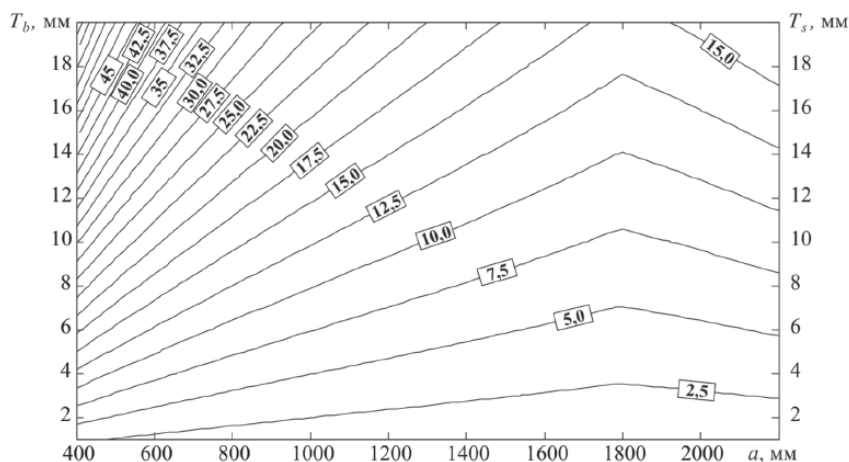


Рисунок 4.5 Зависимость максимальных значений отклонения профиля сектора ( $\Delta_{max}$ , мм) от расстояния между опорами  $a$  и допусков при  $r_N = r_{sn} = r_{bn} = 1600$  мм

#### 4.2 Обработка результатов экспериментального исследования.

Задачей представленного исследования сформулирована в следующем виде: установить фактическую точность крупногабаритных корпусов вращения геохода, оценить обоснованность математической модели формирования погрешностей и выявить факторы, значимо влияющие на геометрическую точность корпусов.

Исследование проводилось на основе координатного контроля корпусов опытного образца геохода. Координатный контроль выполнялся



координатно-измерительной машиной (КИМ) типа «искусственная рука» FARO модели ArmEdge 9.

Дальнейшее выявление фактической точности поверхностей, оценка обоснованности математической модели формирования погрешности и выявления значимых факторов производилось путем создания регрессионных моделей поверхностей на основе экспериментальных данных и статистического анализа рядов данных.

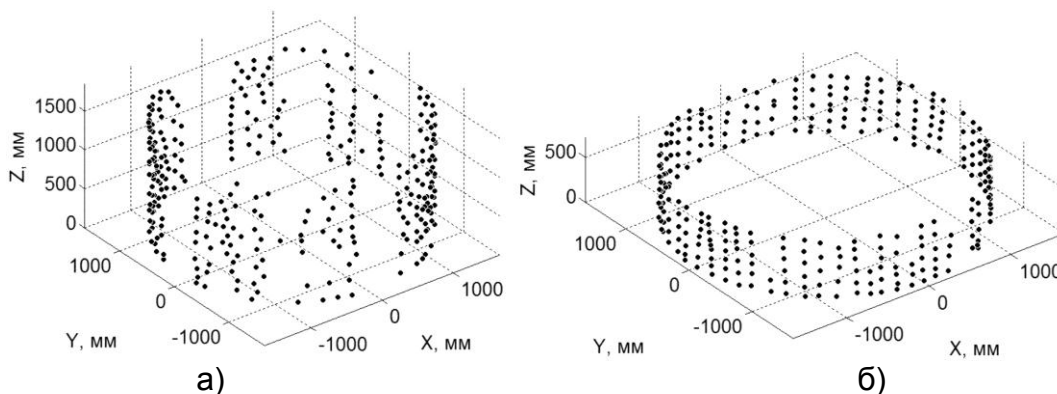


Рисунок 4.6 Облака точек по результатам координатного контроля: а) стабилизирующей секции; б) внешнего корпуса модуля сопряжения

Были построены регрессионные модели цилиндрических поверхностей корпусов в целом (рисунок 4.7 а,в) и поверхности отдельных сегментов (рисунок 4.7 б,г).

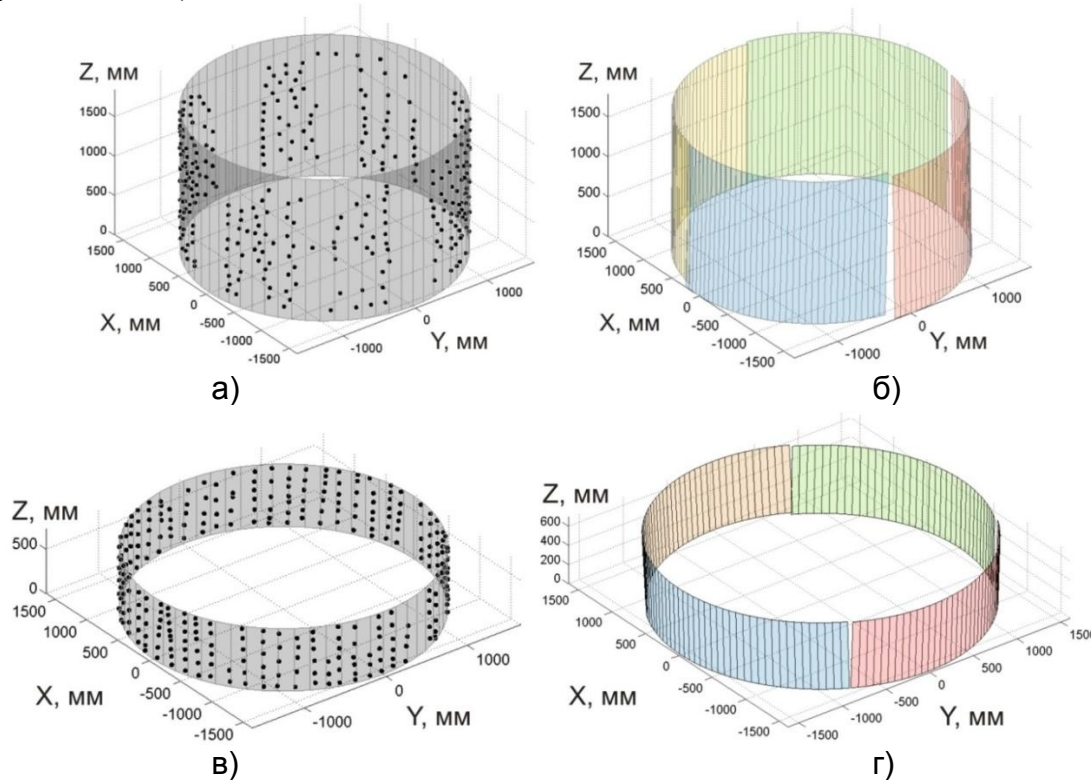


Рисунок 4.7 Аппроксимирующие поверхности: а) общий цилиндр стабилизирующей секции; б) сегменты стабилизирующей секции; в) общий цилиндр внешнего корпуса модуля сопряжения; г) сегменты внешнего корпуса модуля сопряжения

В таблице 4.1 и таблице 4.2 приведены характеристики цилиндрических поверхностей сегментов стабилизирующей секции и внешнего корпуса модуля сопряжения соответственно. Радиусы отдельных секторов имеют значительный разброс, в одном случае выходя за пределы, установленные предельным отклонением в 10 мм (1610,18 мм), но, как отмечалось выше, в целом корпуса соответствуют установленным требованиям точности. Это подтверждает вывод, сделанный в работе [35] о том, что общая точность корпуса за счет определённых приемов при сборке может повышаться в сравнении с точностью отдельных сегментов.

Таблица 4.1 – Характеристики цилиндрических поверхностей сегментов стабилизирующей секции

Наименование характеристики		В целом	Номер сегмента			
			1	2	3	4
Радиус аппроксимирующего цилиндра, мм		1595,25	1595,02	1591,89	1604,45	1610,18
Стандартное отклонение, мм		2,10	1,42	1,11	1,33	0,99
Абсолютная погрешность, мм		2,10	6,80	5,95	6,56	4,64
Корреляция $\rho$ по координате $\theta$	Коэффициент	0,126	-0,456	-0,738	0,423	0,133
	Вывод о значимости	значима				Не значима
Корреляция $\rho$ по координате $Z$	Коэффициент	0,126	-0,269	0,368	0,707	0,263
	Вывод о значимости	Значима				
Соответствие ряда остатков нормальному распределению	Статистика Харке-Бера	8,99	3,73	5,00	0,87	6,10
	Критическое значение	5,79	5,31	5,31	5,24	5,39
	Вывод	Не соответствует	Соответствует			
Отсутствие тренда в ряду остатков по координате $\theta$	Число поворотных точек	211	51	51	44	57
	Критическое число	198,5	44,7	44,7	39,1	51,5
	Вывод	Отсутствует				
Отсутствие тренда в ряду остатков по координате $Z$	Число поворотных точек	204	57	52	42	62
	Критическое число	198,5	44,7	44,7	39,1	51,5
	Вывод	Отсутствует				
Отсутствие автокорреляции в ряду остатков по координате $Z$	Статистика Дарбина - Уотсона	0,65	0,77	0,98	0,72	1,18
	Вывод	Положительная автокорреляция				
Отсутствие автокорреляции в ряду остатков по координате $Z$	Статистика Дарбина - Уотсона	1,84	1,97	1,98	2,02	1,92
	Вывод	Положительная автокорреляция	Отсутствует			

Таблица 4.2 – Характеристики цилиндрических поверхностей сегментов внешнего корпуса

Наименование характеристики	В целом	Номер сегмента				
		1	2	3	4	
Радиус аппроксимирующего цилиндра, мм	1598,23	1601,93	1601,44	1597,13	1602,06	
Стандартное отклонение, мм	1,72	0,92	0,94	0,70	0,68	
Абсолютная погрешность, мм	9,48	4,24	4,39	3,78	3,55	
Корреляция $\rho$ по координате $\theta$	-0,179	-0,152	-0,62	0,113	0,103	0,133
	Вывод о значимости	значима	Не значима	значима	Не значима	
Корреляция $\rho$ по координате $Z$	Коэффициент	-0,750	-0,802	-0,800	-0,965	-0,953
	Вывод о значимости	Значима				
Соответствие ряда остатков нормальному распределению	Статистика Харке-Бера	11,42	1,98	2,10	0,79	0,106
	Критическое значение	5,78	5,38	5,17	5,33	5,27
	Вывод	Не соответствует	Соответствует			
Отсутствие тренда в ряду остатков по координате $\theta$	Число поворотных точек	173	53	39	51	47
	Критическое число	191,5	50,9	34,8	46,6	40,9
	Вывод	Присутствует				
Отсутствие тренда в ряду остатков по координате $Z$	Число поворотных точек	204	56	46	61	46
	Критическое число	191,5	50,9	34,8	46,6	40,9
	Вывод	Отсутствует				
Отсутствие автокорреляции в ряду остатков по координате $Z$	Статистика Дарбина - Уотсона	1,42	1,21	1,11	1,24	1,99
	Вывод	Положительная автокорреляция				отсутствует
Отсутствие автокорреляции в ряду остатков по координате $Z$	Статистика Дарбина - Уотсона	1,58	1,00	1,72	1,25	1,19
	Вывод	Положительная автокорреляция		Отсутствует	Положительная автокорреляция	

Как показывает анализ рядов остатков (рисунок 4.8) существует систематическая погрешность точек, полученных координатным контролем, от созданных моделей поверхностей корпусов в целом. Это подтверждается тем, что обнаружена значимая корреляция радиусов точек от угловой координаты  $\theta$  и координаты высоты  $Z$ . Анализ показал, что ряды остатков не соответствуют закону нормального распределения, в одном из рядов обнаруживается тренд, а также имеется положительная автокорреляция во всех рядах остатков.

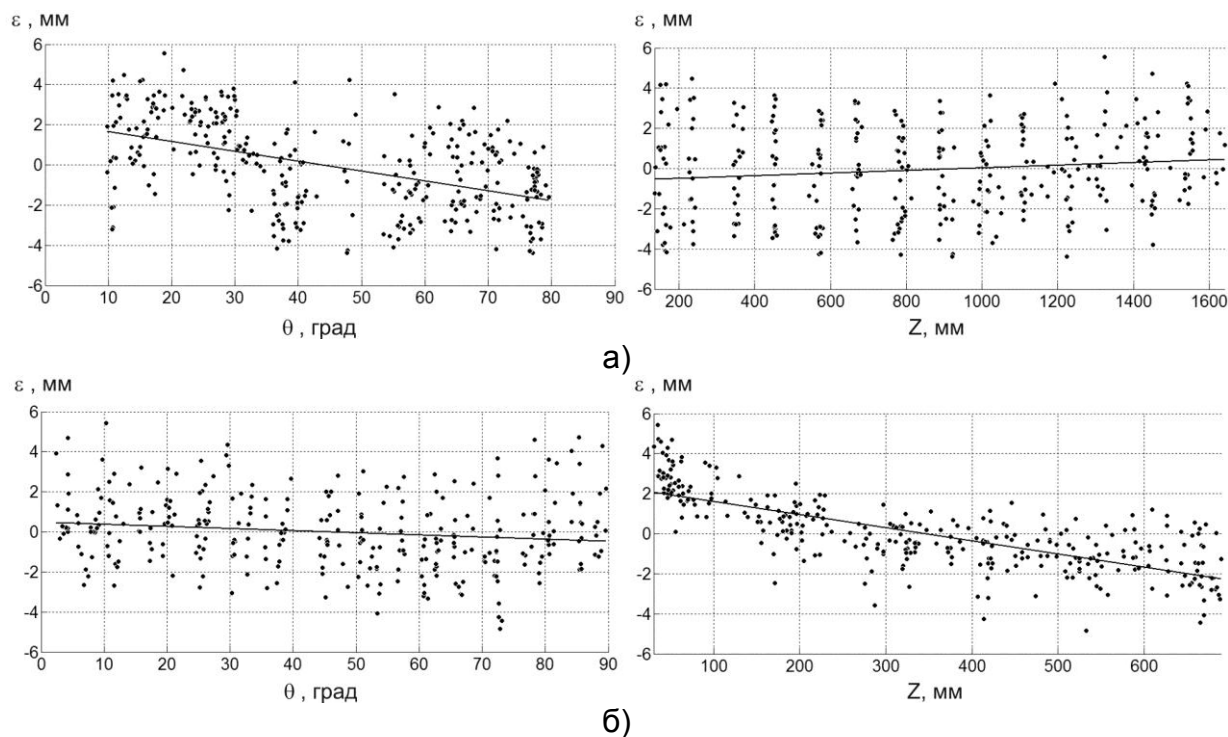


Рисунок 4.8 Ряды остатков моделей общих цилиндров: а) стабилизирующая секция; б) внешний корпус модуля сопряжения

В качестве наиболее возможной причины возникновения систематических погрешностей следует рассматривать погрешности, связанные с неточностями изготовления сегментов и их взаимного расположения, описываемых в модели, приведенной в работе [36]. В таком случае отклонения от моделей отдельных сегментов должны иметь меньшие значения и демонстрировать меньшую систематичность.

4.3 Определение расстояния между опорами, которое будет обеспечивать наибольшую точность при сборке.

Необходимо определить важный параметр наладки – расстояние между опорами, которое будет обеспечивать наибольшую точность при сборке. Входными параметрами является фактические радиусы сектора и допуски на расположение опор. Задача – найти значение А (расстояние между опорами) и величину погрешности.

Для расчета по представленной модели (рисунок 4.1) был составлен электронный интерактивный документ в программе Maple 2015. Данный документ позволяет определять погрешности при различных условиях. Для различных назначенных условий снимались соответствующее значение А и погрешности. Результаты проведенного исследования модели представлены в виде графиков зависимости.

На рисунке 4.9 показана картина без учета допуска на изготовление сектора. В данном случае погрешность линейно зависит от допуска на расстояние опор. Оптимальное расстояние между опорами однозначно при

различных  $T_b$  (допуск на расстояние опор). Этот случай в практическом плане мало интересен.

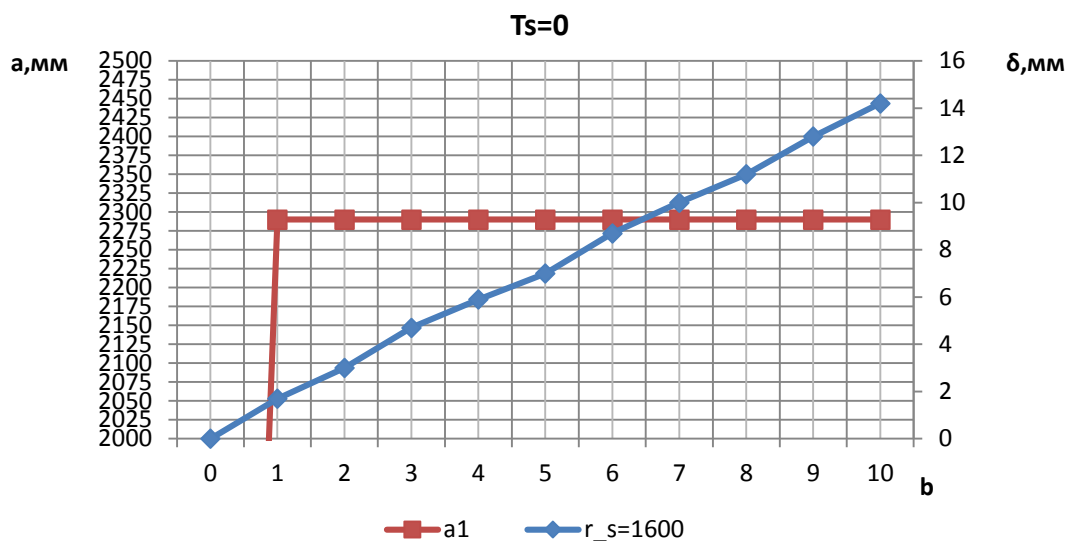


Рисунок 4.9 График зависимости для допуска  $T_s=0$

На рисунке 4.10 представлен график зависимости с учетом допуска на сектор  $T_s=6$  мм. При наибольшем и наименьшем предельном отклонении сектора данные кривые практически равны, а оптимальное расстояние между опорами меняется и имеет сложную зависимость от допуска на расстояние опор  $T_b$ . С увеличением допуска  $T_b$  расстояние  $A$  увеличивается.

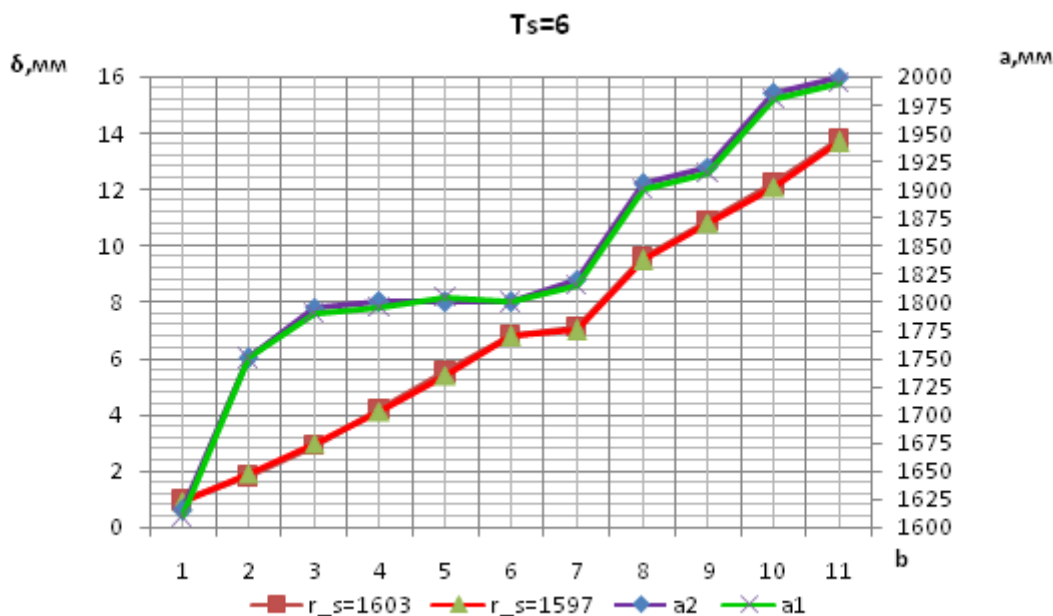


Рисунок 4.10 График зависимости для допуска  $T_s=6$

На рисунке 4.11 представлен график зависимости с учетом допуска на сектор  $T_s=10$  мм. Как видно из данного графика, при увеличении допуска на

сектор разница между оптимальными расстояниями для сектора с наибольшим и наименьшим предельным размером увеличивается. Так же с увеличением допуска  $T_b$  оптимальное расстояние между опор увеличивается.

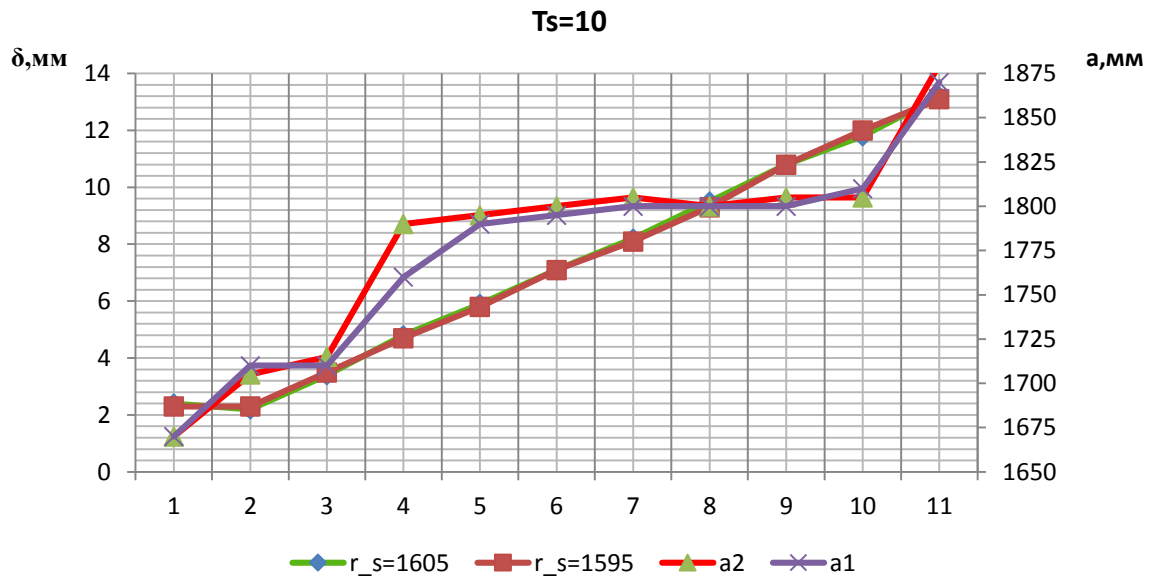


Рисунок 4.11 График зависимости для допуска  $T_s=10$

На рисунке 4.12 представлен график зависимости с учетом допуска на сектор  $T_s=16$  мм. При допуске на сектор  $T_s=16$  заметно увеличивается разница между оптимальными расстояниями для сектора с наибольшим и наименьшим предельным размером. Определение оптимального расстояния  $A$  усложняется.

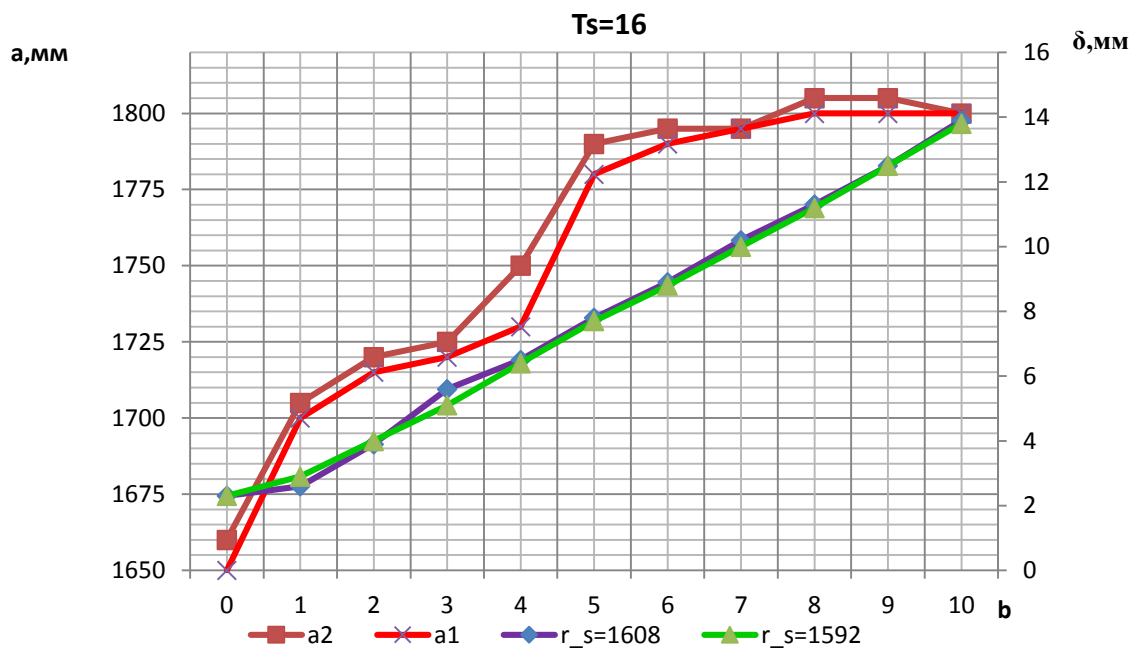


Рисунок 4.12 График зависимости для допуска  $T_s=16$

На рисунке 4.13 представлен график зависимости с учетом допуска на сектор  $T_s=20$  мм. При данном допуске на сектор наблюдается аналогичная картина как и для допуска на сектор  $T_s=16$  мм.

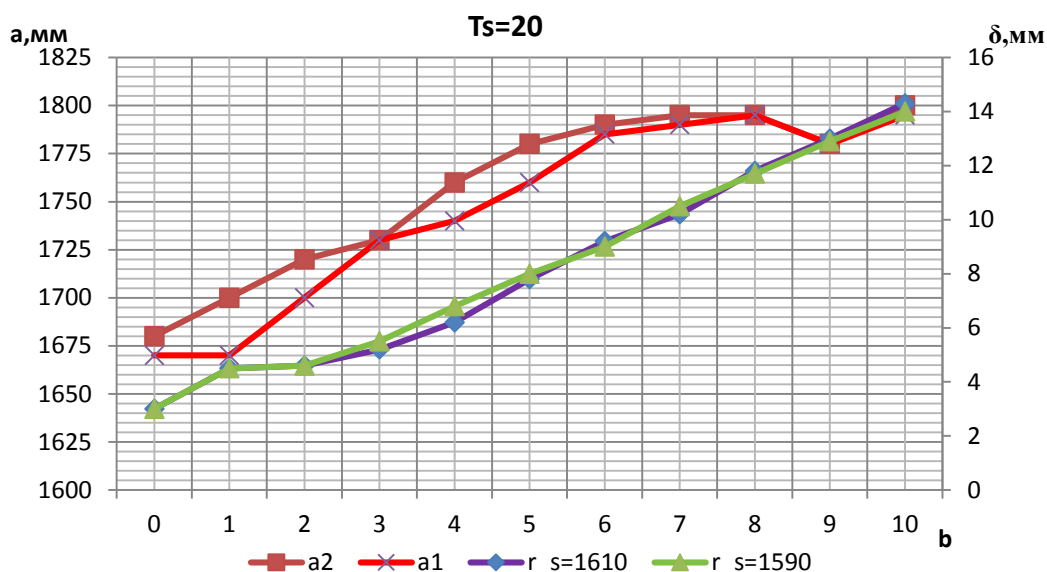


Рисунок 4.13 График зависимости для допуска  $T_s=20$

Подобные графики для данных условий позволяют определить оптимальное расстояние между опорами (А). Это расстояние является важнейшим параметром технологической наладки, которое влияет на величину погрешности. Используя графики можно определить такие значения А, которые в определенных условиях обеспечат минимальное значение погрешности. При назначении расстояния А необходимо определять допусками на радиус сектора и допусками на расположение опор.

#### 4.4 Расчет корреляции.

Расчет корреляции производился в программе Excel 2008. Для проведения расчетов использовались ряды остатков моделей на развертках секторов. Для определения расположения точек измерялись ближайшие горизонтальные и вертикальные расстояния от точек до ближайших ребер секторов. После определения расположения точек на цветной диаграмме определялись отклонения для каждой отдельной точки. После чего для каждого отклонения были рассчитаны средние значения расстояний и посчитана корреляция.

#### 4.4.1 Расчет корреляции корпуса стабилизирующей секции

Остатки модели на рисунке 4.14 отражают деформации оболочки, и их картину можно уверенно связать с конструктивными элементами корпуса [38].

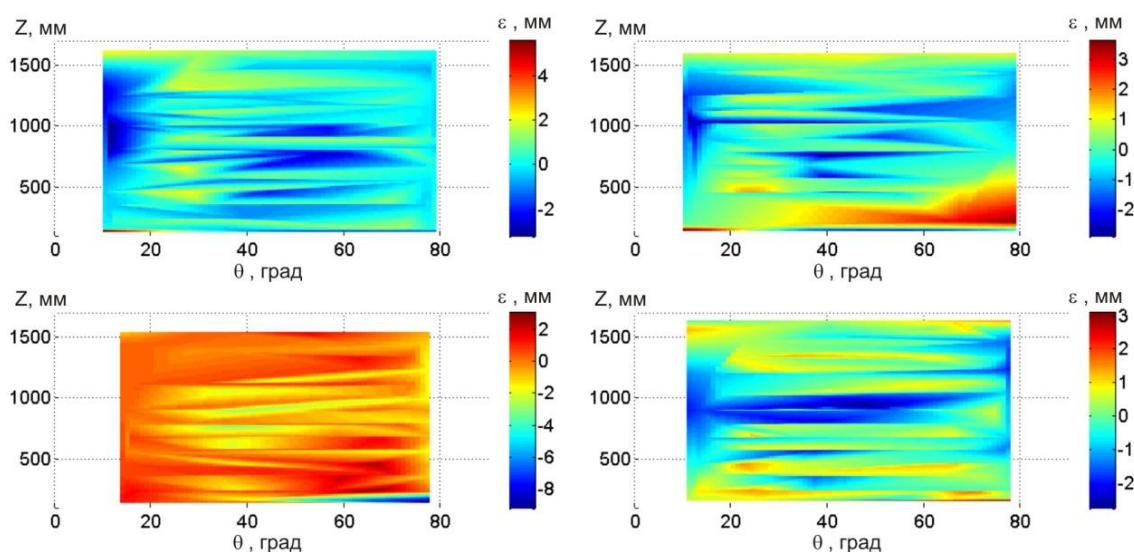


Рисунок 4.14 Ряды остатков моделей на развертках секторов стабилизирующей секции

На рисунке 4.15 представлена диаграмма корреляции для стабилизирующей секции. По полученным расчетом коэффициент корреляция составляет -0,715. Критическое значение для уровня значимости  $\alpha=0,05$  [ $K=0,521$ ]. Рассматривая диаграмму можно сделать вывод, что при изготовлении стабилизирующей секции полученные отклонения напрямую зависят от расположения ребер.

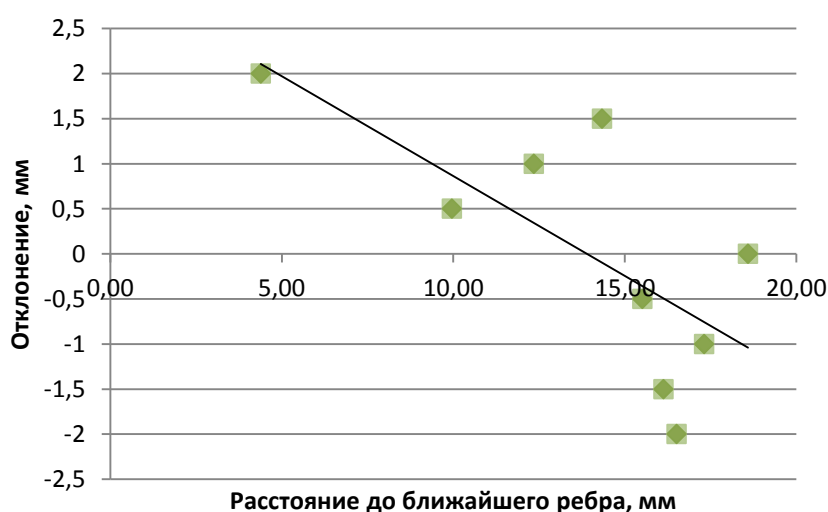


Рисунок 4.15 Диаграмма корреляции секторов стабилизирующей секции



#### 4.4.2 Расчет корреляции корпуса модуля сопряжения

Анализ рядов остатков модели (рисунок 4.16) показывает наличие систематической составляющей погрешностей, не объясняющейся моделью, приведенной в [35, 37].

Остатки модели на рисунке 4.16 отражают деформации оболочки и их картину можно уверенно связать с конструктивными элементами корпуса. В местах с пониженной жесткостью наблюдаются отрицательные отклонения (в сторону оси цилиндра), в местах с повышенной жесткостью напротив, наблюдаются положительные отклонения.

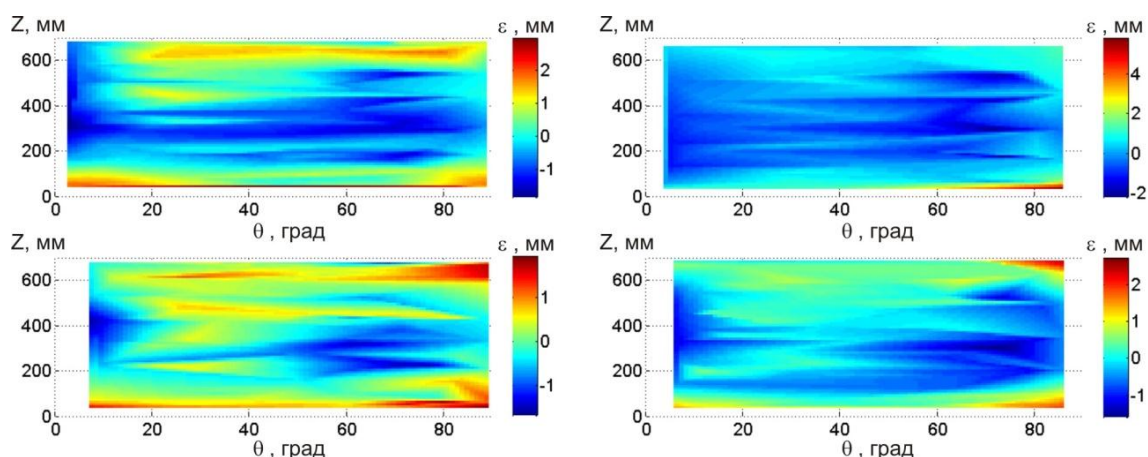


Рисунок 4.16 Ряды остатков моделей на развертках секторов модуля сопряжения

В целом форма оболочки может быть охарактеризована как седлообразная, дополненная деформациями мест замков внутрь корпуса. Явно просматриваются повышенные градиенты деформаций в местах ребер жесткости и фланцев, т. е. в местах, где находятся мощные сварные швы.

Для определения причины появления данных отклонений производим расчет корреляции модуля сопряжения.

На рисунке 4.17 представлена диаграмма корреляции для стабилизирующей секции. По полученным расчетом коэффициент корреляция составляет  $-0,457$ . Критическое значение для уровня значимости  $\alpha=0,05$  [ $K=0,457$ ]. Рассматривая диаграмму можно сделать вывод, что при изготовлении модуля сопряжения полученные отклонения так же напрямую зависят от расположения ребер.

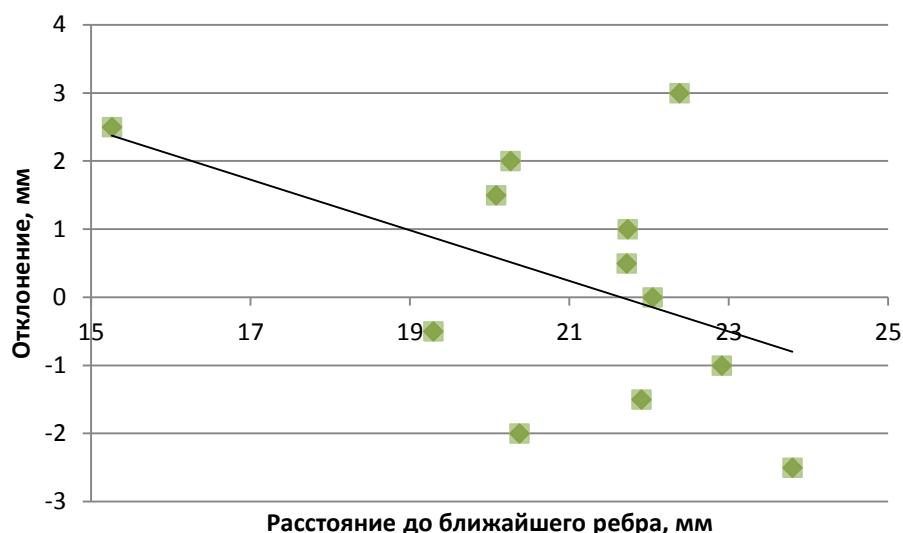


Рисунок 4.17 Диаграмма корреляции секторов модуля сопряжения

#### 4.5 Выводы по результатам исследования

На основе анализа литературных источников и интерпретации количественных данных о технико-экономических показателях технологий производства систем и узлов геохода показана значимость совершенствования технологий изготовления крупногабаритных корпусов вращения геохода.

Отклонение профиля сектора от номинальной окружности непостоянно по угловой координате, а для оценки соответствия отклонений требованиям точности необходимо определять экстремальные значения отклонения. Возникающие отклонения существенным образом зависят от расстояний, приведенных на схеме, изображенной на рис. 4.1.

При практических расчетах в процессе проектирования операции сборки необходимо учитывать значения допусков на расстояния от центра номинальной окружности до опор и на радиус сектора.

Предложенная схема реализации сборки дает возможность получить геометрическую точность оболочки без регулирования, пригонки и подбора. Это подтверждается расчетами, которые показывают, что существуют такие сочетания допусков на расстояния от центра номинальной окружности до опор и на радиус сектора и расстояния между опорами, при которых обеспечивается более высокая точность оболочки секции, чем та, которую имеет отдельный сектор.

В силу наличия значительного количества подходов к моделированию процессов формирования погрешностей крупногабаритных сегментных корпусов, в процедурах анализа их геометрической точности необходимо опираться на фактические данные, полученные при контроле реальных образцов изделий.

Анализ данных координатного контроля стабилизирующей секции и внешнего корпуса модуля сопряжения показал, что в процессе их

производства основными факторами формирования погрешностей являются погрешности изготовления сегментов, отклонения их взаимного расположения при сборке и сварочные деформации.

Геометрическая точность крупногабаритных корпусов вращения может быть увеличена за счет повышения качества исходных комплектующих, совершенствования сборочных наладок и оптимизации конструкции изделия с точки зрения обеспечения ее равномерной жесткости.

Из расчета коэффициента корреляции установлено, что отклонения связаны с наличием ребер жесткости в конструкции корпусов и сварочными деформациями.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
10300	Солдатовой Анастасии Андреевне

Институт	ЮТИ ТПУ	Кафедра	ТМС
Уровень образования	специалист	Направление/специальность	151001 «Технология машиностроения»

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

1. Стоимость ресурсов инженерного решения (ИР) / научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Годовой фонд рабочего времени – 1975 часов; Цена материала – 34,5 руб./кг; Цена отходов материала - 12 руб./кг; Годовой объем выпуска – 32 шт.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Масса заготовки – 2280 кг; Масса детали – 2250 кг; Материал – Сталь 09Г2С ГОСТ 19281-89
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	Система налогообложения - УСН; Ставка отчислений - 0,3

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

1. Краткое описание исходных технико-экономических характеристик объекта ИР / НИ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР / НИ; составление бюджета ИР / НИ; краткое описание основных рисков проекта
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР / НИ; расчет вложений в основные и оборотные фонды
4. Планирование показателей по труду и заработной плате (расчет штатного расписания, производительности труда, фонда заработной платы)
5. Проектирование себестоимости продукции; обоснование цены на продукцию
6. Расчет прибыли, технико-экономическое обоснование и экономическая оценка проекта
7. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР / НИ

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

1. График разработки и внедрения ИР / НИ
2. Основные показатели эффективности ИР (технико-экономические показатели проекта)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2016
------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Нестерук Д.Н.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10300	Солдатова А.А.		

## 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Студент гр. 10300

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А.А.Солдатова

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Руководитель  
Ассистент  
кафедры ЭиАСУ

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

Д.Н.Нестерук

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Нормоконтроль  
к. т. н., доцент  
кафедры ТМС

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А. А. Ласуков

\_\_\_\_\_  
(Дата)

## 5.1 Расчет объема капитальных вложений

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы – обосновать технологическое решение, предложенное на основе расчета себестоимости продукции (корпуса внешнего ФЮРА.612322.401.3.02.01.000) при заданном объеме производства 32 штук и капитальных вложений в предлагаемый инженерный проект.

### 5.1.1 Стоимость технологического оборудования

Стоимость технологического оборудования в рублях представляет собой сумму произведения количества оборудования и его цены по всем операциям технологического процесса и определяется по формуле (5.1):

$$K_{\text{то}} = \sum_{i=1}^m Q_i \cdot C_i, \quad (5.1)$$

где  $m$  – количество операций технологического процесса изготовления изделий;

$Q_i$  – принятое количество единиц оборудования, занятого выполнением  $i$ -ой операции, шт.;

$C_i$  – балансовая стоимость единицы оборудования, занятого выполнением  $i$ -ой операции, руб.

Стоимость технологического оборудования представлена в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Стоимость технологического оборудования

№ операции	Модель станка	$C_i$ , руб	$Q_i$ , шт	$K_{\text{то}}$ , руб
005	Токарно-карусельный станок модели 1550 с УЦИ.	8475000	1	8475000
010	Фрезерно- расточной станок с ЧПУ WRD 150(Q).	16016950	1	16016950
Всего:				24491950

### 5.1.2 Стоимость вспомогательного оборудования

Стоимость вспомогательного оборудования определим приближенно – 30% от стоимости технологического оборудования и определяется по формуле (5.2):

$$K_{\text{во}} = K_{\text{то}} \cdot 0,30 = 24491950 \cdot 0,30 = 7347585 \text{ руб.} \quad (5.2)$$

### 5.1.3 Стоимость инструментов, приспособлений и инвентаря

Стоимость инструментов и инвентаря по предприятию может быть установлена приближенно в размере 10-15% от стоимости технологического оборудования и определяется по формуле (5.3):

$$K_{\text{ии}} = K_{\text{то}} \cdot 0,15 = 24491950 \cdot 0,15 = 3673792,5 \text{ руб.} \quad (5.3)$$

### 5.1.4 Стоимость эксплуатируемых помещений

Стоимость эксплуатационных помещений при собственных помещениях определяется по формуле (5.4):

$$C''_{\text{п}} = (S_{\text{пн}} \cdot A_{\text{м}} + S_{\text{сн}} \cdot A_{\text{сн}}) \cdot T = (50 \cdot 400 + 10 \cdot 400) \cdot 12 = 288000 \text{ руб.}, \quad (5.4)$$

где  $S_{\text{пн}}, S_{\text{сн}}$  – соответственно производственная и складская площадь,  
 $S_{\text{пн}} = 50 \text{ м}^2$ ,  $S_{\text{сн}} = 10 \text{ м}^2$ ;

$A_{\text{м}}, A_{\text{сн}}$  – арендная плата 1  $\text{м}^2$  за месяц,  $A_{\text{м}} = A_{\text{сн}} = 400 \text{ руб/м}^2$ ;

$T$  – отчетный период,  $T=12 \text{ мес.}$

### 5.1.5 Стоимость оборотных средств

Стоимость оборотных средств в производственных запасах, сырье и материалах определяется по формуле (5.5):

$$K_{\text{пзм}} = \frac{H_{\text{м}} \cdot N \cdot C_{\text{м}}}{360} \cdot T_{\text{обм}}, \quad (5.5)$$

где  $H_{\text{м}}$  – цена отходов материала,  $H_{\text{м}} = 12 \text{ руб./кг}$ ;

$N$  – годовой объем производства продукции,  $N = 32 \text{ шт}$ ;

$C_{\text{м}}$  – цена материала,  $C_{\text{м}} = 34,5 \text{ руб./кг}$ ;

$T_{\text{обм}}$  – продолжительность оборота запаса материалов (квартал, полугодие, определенный период) в днях.

$$K_{\text{пзм}} = \frac{12 \cdot 32 \cdot 34,5}{360} \cdot 90 = 3312 \text{ руб.}$$

### 5.1.6 Оборотные средства в незавершенном производстве

Стоимость незавершенного производства определяется по формуле (5.6):

$$K_{\text{нзп}} = \frac{N \cdot T_{\text{ц}} \cdot C' \cdot k_{\text{Г}}}{360}, \quad (5.6)$$

Где  $T_{\text{ц}}$  – длительность производственного цикла,  $T_{\text{ц}} = 0,3 \text{ дня}$ ;

$C'$  – себестоимость единицы готовой продукции на стадии предварительных расчетов, руб.;

$k_{\text{Г}}$  – коэффициент готовности.

Себестоимость единицы готовой продукции на стадии предварительных расчетов определяется по формуле (5.7):

$$C' = \frac{H_M \cdot Ц_M}{k_M} = \frac{6 \cdot 34,5}{0,9} = 230 \text{ руб.} \quad (5.7)$$

где  $k_M$  – коэффициент, учитывающий удельный вес стоимости основных материалов в себестоимости изделия ( $k_M=0,8 \div 0,85$ ).

Коэффициент готовности определяется по формуле (5.8):

$$k_G = (k_M + 1) \cdot 0,5 = (0,8 + 1) \cdot 0,5 = 0,9. \quad (5.8)$$

$$K_{\text{НЗП}} = \frac{32 \cdot 0,3 \cdot 230 \cdot 0,9}{360} = 5,52 \text{ руб.}$$

### 5.1.7 Оборотные средства в запасах готовой продукции

Стоимость запаса готовой продукции определяется по формуле (5.9):

$$K_{\text{ГП}} = \frac{C' \cdot N}{360} \cdot T_{\text{ГП}}, \quad (5.9)$$

где  $T_{\text{ГП}}$  – продолжительность оборота готовой продукции на складе в днях.

$$K_{\text{ГП}} = \frac{230 \cdot 32}{360} \cdot 7 = 143 \text{ руб.}$$

### 5.1.8 Оборотные средства в дебиторской задолженности

Дебиторская задолженность определяется по формуле (5.10):

$$K_{\text{ДЗ}} = \frac{V_{\text{рп}}}{360} \cdot T_{\text{ДЗ}}, \quad (5.10)$$

где  $V_{\text{рп}}$ - выручка от реализации продукции на стадии предварительных расчетов, руб.;

$T_{\text{ДЗ}}$ - продолжительность дебиторской задолженности ( $T_{\text{ДЗ}}=7 \div 40$ ), дней

$$K_{\text{ДЗ}} = \frac{8464}{360} \cdot 7 = 164,58 \text{ руб.}$$

Выручка от реализации продукции на стадии предварительных расчетов определяется по формуле (5.11):

$$V_{\text{рп}} = C' \cdot N \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right), \quad (5.11)$$

$$V_{\text{рп}} = 230 \cdot 32 \cdot \left(1 + \frac{15}{100}\right) = 8464 \text{ руб.}$$

где  $p$  – рентабельность продукции,  $p=15 - 20\%$ .



### 5.1.9 Денежные оборотные средства

Денежные средства на текущие расходы определяются по формуле (5.12):

$$C_{\text{обс}} = K_{\text{ПЗМ}} \cdot 0,10 = 3312 \cdot 0,10 = 331,2 \text{ руб.} \quad (5.12)$$

### 5.1.10 Сумма капитальных вложений

Определяется по формуле (5.13):

$$C_{\text{к.в.}} = K_{\text{ТО}} + K_{\text{ВО}} + K_{\text{ИИ}} + C_{\text{П}} + K_{\text{ПЗМ}} + K_{\text{НЗП}} + C_{\text{обс}}, \quad (5.13)$$

$$C_{\text{к.в.}} = 24491950 + 7347585 + 3683962,5 + 288000 + 3312 + 5,52 + 331,2 = 35815146,22 \text{ руб.}$$

## 5.2 Определение сметы затрат на производство и реализацию продукции

### 5.2.1 Основные материалы за вычетом реализуемых отходов

Затраты на основные материалы определяют по формуле (5.14):

$$C_{\text{М}} = N \cdot (\text{Ц}_{\text{М}} \cdot \text{Н}_{\text{М}} \cdot K_{\text{ТЗР}} - \text{Ц}_{\text{О}} \cdot \text{Н}_{\text{О}}), \quad (5.14)$$

где  $K_{\text{ТЗР}}$  – коэффициент транспортно - заготовительных расходов

$$K_{\text{ТЗР}} = 1,04;$$

$\text{Ц}_{\text{О}}$  – цена возвратных отходов,  $\text{Ц}_{\text{О}} = 12 \text{ руб/кг}$ ;

$\text{Н}_{\text{О}}$  – норма возвратных отходов,  $\text{Н}_{\text{О}} = 30 \text{ кг}$ .

$$C_{\text{М}} = 32 \cdot (34,5 \cdot 2280 \cdot 1,04 - 12 \cdot 30) = 2606284,8 \text{ руб.}$$

Таблица 5.2 – Затраты на основные материалы

№ детали	Затраты на материалы, руб.	Возвратные отходы, руб.	$C_{\text{ми}}$ , руб.
ФЮРА.300090.000	2594764,8	11520	2606284,8
Всего			2606284,8

### 5.2.2 Расчет заработной платы производственных работников

Расчет заработной платы производственных работников в рублях определяется по формуле (5.15):

$$C_{\text{зо}} = \sum_{i=1}^m \frac{t_{\text{шт}i}}{60} \cdot C_{\text{час}j} \cdot k_{\text{н}} \cdot k_{\text{р}} \cdot N, \quad (5.15)$$

где  $m$  – количество операций технологического процесса;

$t_{\text{шт}i}$  – норма времени на выполнение  $i$ -ой операции, мин/ед;

$C_{\text{час}j}$  – часовая ставка  $j$ -го разряда, руб./час;

$k_n$  – коэффициент, учитывающий премии и доплаты ( $k_n \approx 1,5$ );

$k_p$  – районный коэффициент ( $k_p = 1,3$ ).

Расчет заработной платы производственных рабочих представлен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Расчет заработной платы производственных рабочих

Профессия рабочего	$t_{штг}$ , мин	Разряд	Количество	$C_{час}$ , руб.	$C_{зо}$ , руб
005	320,72	3	1	75,5	25182,93
010	307,81	5	1	75,5	24169,24
Фонд заработной платы всех рабочих					49352,17

5.2.3 Отчисления на социальные нужды по заработной плате основных производственных рабочих

Отчисления на социальные нужды определяются по формуле (5.16):

$$C_{осо} = C_{зо} \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) = 49352,17 \cdot (0,3 + 0,2) = 24676,1 \text{ руб.}, \quad (5.16)$$

где  $\alpha_1$  – обязательные социальные отчисления,  $\alpha_1 = 0,26$  руб/год;

$\alpha_2$  – социально страхование по профессиональным заболеваниям и несчастным случаям,  $\alpha_2 = 0,017 \div 0,03$  руб/год.

5.2.4 Расчет амортизации основных фондов

Годовую норму амортизации каждого оборудования в рублях определяем по формуле (5.17):

$$a_{ни} = \frac{1}{T_о} \cdot 100\%, \quad (5.17)$$

где  $T_о$  – срок службы оборудования,  $T_о = 3 - 12$  лет,

Для 005 операции:

$$a_{н1} = \frac{1}{10} \cdot 100\% = 10;$$

Для 010 операции:

$$a_{н2} = \frac{1}{12} \cdot 100\% = 8,3;$$

Для 020 операции:

$$a_{н3} = \frac{1}{9} \cdot 100\% = 11,1;$$

Расчет амортизационных отчислений, приходящихся на один час работы оборудования определяем по формуле (5.18):

$$A_{\text{ч}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot a_{hi}}{F_{\text{д}} \cdot K_{\text{вр}i}}, \quad (5.18)$$

где  $n$  – количество оборудования, шт;

$K_{\text{вр}i}$  – коэффициент загрузки  $i$ -го оборудования по времени;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования,

$F_{\text{д}} = 1975$  час.

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Амортизационные отчисления

№ операции	Ц, руб.	$T_o$ , лет	$\alpha_H$ , %	$F_{\text{д}}$ , ч	$K_{\text{вр}i}$	$A_{\text{ч}}$ , руб
005	8474577	10	10	1975	0,70	61298,93
010	16016950	12	8,3		0,67	100465,28
Амортизационные отчисления для всех станков ( $A_{\text{ч}}$ )						161764,21

Амортизационные отчисления эксплуатируемых площадей, включены в стоимость арендной платы.

### 5.2.5 Отчисления в ремонтный фонд

Отчисления в ремонтный фонд определяем по формуле (5.19):

$$C_p = (K_{\text{ТО}} + K_{\text{ВО}}) \cdot K_{\text{рвм}} + C_{\text{п}} \cdot k_{\text{з.рвм}}, \quad (5.19)$$

где  $K_{\text{рвм}}$ ,  $K_{\text{з.рвм}}$  – коэффициенты, учитывающие отчисления в ремонтный фонд.

$$C_p = (24491950 + 7347585) \cdot 0,02 + 288000 \cdot 0,05 = 651190,7 \text{ руб.}$$

### 5.2.6 Затраты на вспомогательные материалы на содержание оборудования

Затраты на СОЖ определяются по формуле (5.20):

$$C_{\text{сож}} = n \cdot N \cdot q_{\text{ох}} \cdot c_{\text{ох}}, \quad (5.20)$$

где  $q_{\text{ох}}$  – средний расход охлаждающей жидкости для одного станка  
 $q_{\text{ох}} = 0,03 \text{ кг/дет}$ ;

$c_{\text{ох}}$  – средняя стоимость охлаждающей жидкости,  $c_{\text{ох}} = 152 \text{ руб/кг}$ .

$$C_{\text{сож}} = 3 \cdot 32 \cdot 0,03 \cdot 152 = 437,76.$$

### 5.2.7 Затраты на силовую электроэнергию

Расчёт затрат на электроэнергию в рублях определяют по формуле (5.21):

$$C_{чэ} = \sum_{i=1}^m N_{y_i} \cdot F_d \cdot K_N \cdot K_{вр} \cdot K_{од} \cdot \frac{K_{\sigma}}{\eta} \cdot Ц_э, \quad (5.21)$$

где  $N_{y_i}$  – установленная мощность электродвигателей оборудования, занятого выполнением  $i$ -ой операции, кВт;

$K_N$ ,  $K_{вр}$  – средние коэффициенты загрузки электродвигателя по мощности и времени, принимаем  $K_N = 0,5$ ;  $K_{вр} = 0,3$ ;

$K_{од}$  – средний коэффициент одновременной работы всех электродвигателей,  $K_{од} = 0,7$ ;

$K_{\sigma}$  – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети завода, принимаем  $K_{\sigma} = 1,06$ ;

$\eta$  – КПД оборудования, принимаем  $\eta = 0,7$ ;

$Ц_э$  – 4,1 руб. (средняя стоимость электроэнергии по данным городской электросети).

Затраты на электроэнергию представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Затраты на электроэнергию

№ операции	$N_{y_i}$ , кВт	$C_{чэ}$ , руб
005	125	14343
010	65	7458,37
Затраты на электроэнергию для всех операций		21801,37

### 5.2.8 Затраты на инструменты, приспособления и инвентарь

Стоимость инструментов и инвентаря по предприятию установлена приближенно, поэтому их учтем как плановый показатель  $K_{ии} = 3673792,5$  руб. и включим в себестоимость произведенной продукции.

### 5.2.9 Расчет заработной платы вспомогательных рабочих

Заработная плата вспомогательных рабочих определяется по формуле (5.21):

$$C_{звр} = \sum_{j=1}^k C_{змj} \cdot Ч_{врj} \cdot 12 \cdot k_{nj} \cdot k_{hj}, \quad (5.21)$$

$$C_{звр} = 4574,24 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 1,25 \cdot 1,3 = 89197,68 \text{ руб.}$$

где  $k$  – количество вспомогательных рабочих,  $k = 1$  чел.;

$Ч_{врj}$  – численность рабочих по соответствующей профессии,

$$Ч_{врj} = 1 \text{ чел.};$$

$C_{зmj}$  – месячная тарифная ставка рабочего,  $C_{зmj} = 4574,24$  руб.;

$k_{nj}$  – коэффициент, учитывающий премии и доплат для вспомогательных рабочих,  $k_{nj} = 1,25$ ;

$k_{pj}$  – районный коэффициент,  $k_{pj} = 1,3$ .

Отчисления на социальные цели вспомогательных рабочих определяются по формуле (5.22):

$$C_{овр} = C_{звр} \cdot 0,3 = 89197,68 \cdot 0,3 = 26759,3 \text{ руб.} \quad (5.22)$$

где  $C_{овр}$  – сумма отчислений за год, руб./год.

5.2.10 Заработная плата административно – управленческого персонала.

Заработная плата административно – управленческого персонала определяется по формуле (5.23):

$$C_{зауп} = \sum_{j=1}^k C_{заупj} \cdot Ч_{аупj} \cdot 12 \cdot k_{pj} \cdot K_{пдж} , \quad (5.23)$$

где  $C_{заупj}$  – месячный оклад работника административно – управленческого персонала,  $C_{заупj} = 6500$  руб.;

$Ч_{аупj}$  – численность работников административно-управленческого персонала должности,  $Ч_{аупj} = 2$  чел.;

$K_{пдж}$  – коэффициент, учитывающий премии и доплаты административно – управленческого персонала,  $K_{пдж} = 1,58$ ;

$K_{pj}$  – районный коэффициент,  $K_{pj} = 1,3$ .

$$C_{зауп} = 6500 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1,3 \cdot 1,58 = 320424 \text{ руб.}$$

5.2.11 Прочие расходы.

В прочие затраты входят разнообразные и многочисленные расходы: налоги и сборы, отчисления в специальные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества и за выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, командировочные и представительские расходы, оплата работ по сертификации продукции, спец одежда рабочих, вознаграждения за изобретательства и рационализацию, и др.

Прочие расходы  $C_{\text{проч}}$  в рублях рассчитываются как плановые условно по формуле (5.24):

$$C_{\text{проч}} = \text{ПЗ} \cdot N \cdot 0.7 = 2680313.28 \cdot 32 \cdot 0.7 = 60039017.47 \text{ руб.} \quad (5.24)$$

где ПЗ – прямые затраты единицы продукции, руб.

### 5.3 Экономическое обоснование технологического проекта

Смета затрат по экономическим элементам представлена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Смета затрат по экономическим элементам

Затраты	Сумма, руб./ед	Сумма, руб./год
Прямые затраты:	83759,8	2680313,28
основные материалы за вычетом реализуемых отходов	81446,4	2606284,8
заработная плата производственных рабочих	1542,26	49352,17
отчисления на социальные нужды по зарплате производственных рабочих	771,13	24676,1
Косвенные затраты:	1927959,96	61694718,7
амортизация оборудования предприятия	5055,13	161764,21
арендная плата или амортизация эксплуатируемых помещений	9000	288000
отчисления в ремонтный фонд	20349,7	651190,7
вспомогательные материалы на содержание оборудования	13,68	437,76
затраты на силовую электроэнергию	697,43	21801,37
заработная плата вспомогательных рабочих	2787,41	89197
отчисление на социальные цели вспомогательных рабочих	836,22	26759
заработная плата административно-управленческого персонала	10013,25	320424
отчисление на социальные цели административно-управленческого персонала	3003,96	96127,2
Прочие расходы, руб.	1876219,3	60039017,47

### 5.4 Оценка экономической эффективности приспособления

Себестоимость изготовления приспособления  $C$  в рублях рассчитывается по формуле (5.25):

$$C = t_{шт-к} \cdot \frac{C_{шт}}{60} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) + \frac{C_{п} \cdot n}{N} \cdot \left(\frac{1}{T_{п}} + 0,2\right), \quad (5.25)$$

где  $C_{шт}$  – часовая тарифная ставка рабочего, руб/час;

$\alpha$  – процент накладных расходов на заработную плату;

$C_{п}$  – средняя стоимость детали приспособления,  $C_{п} = 30$  руб.;

$n$  – число деталей в приспособлении, шт.;

$T_{п}$  – срок окупаемости приспособления,  $T = 3$  года.

$$C = 320,72 \cdot \frac{75,5}{60} \cdot \left(1 + \frac{15}{100}\right) + \frac{30 \cdot 102}{32} \cdot \left(\frac{1}{3} + 0,2\right) = 515,11 \text{ руб.}$$

Разработанное приспособление считается новым, так как изготовления подобного приспособления не имеется.

Экономический эффект  $\mathcal{E}$  в рублях определяется по формуле (5.26):

$$\mathcal{E} = C \cdot N = 515,11 \cdot 32 = 16483,47. \quad (5.26)$$

В результате разработки технологического процесса технологическая себестоимость детали была определена в размере 52672,11 руб. при данной программе выпуска 32 штуки в год. Разработанное приспособление не имеет аналогов и удовлетворяет требованиям прочности и точности, а также даёт годовую экономию в размере 16483,47руб/год.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
10300	Солдатова Анастасия Андреевна

Институт		Кафедра	Технология машиностроения
Уровень образования		Направление/специальность	Технология машиностроения

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

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

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

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

3. Охрана окружающей среды:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);



<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	12.04.2016
-------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	В.А.Портола			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10300	А.А. Солдатова		

## 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Студент гр. 10300

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А.А. Солдатова

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Руководитель  
д. т. н., профессор  
кафедры БЖДЭиФВ

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

В.А. Портола

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Нормоконтроль  
к. т. н., доцент кафедры ТМС

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

А. А. Ласуков

\_\_\_\_\_  
(Дата)

## 6.1 Характеристика объекта исследования

Проведение экспериментального исследования характеризуется, как правило, наличием различных опасных и вредных факторов. В ходе проведения эксперимента ведется обработка распространенных конструкционного материала такого как: 09Г2С ГОСТ 19281 - 89. Данный материал не имеют примесей опасных для здоровья человека. В основе эксперимента лежит токарная обработка. Данная операция характеризуется: малым тепловыделением и образованием элементной стружки. Поскольку экспериментальная установка имеет разборную конструкцию, узлы, которой превышают ограничений по допустимой массе, следовательно, для транспортировки и подготовки эксперимента требуется подъёмно-транспортное устройство.

В процессе проведения экспериментального исследования действуют следующие вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье и самочувствие человека:

- недостаточное освещение может ухудшить зрение человека, а также косвенно влияет на безопасность труда и качество продукции;
- электрический ток поражение электрическим током может привести к серьёзным травмам и смерти человека;
- движущиеся органы силовой установки могут привести к серьёзным травмам;
- шум ослабляет внимание человека, замедляет скорость психических реакций, в результате снижается производительность и ухудшается качество работы, повышается вероятность несчастных случаев;
- стружка может привести к травме в виде порезов.

## 6.2 Обеспечение требуемого освещения на рабочем месте

Производственное освещение предназначено для решения следующих вопросов: оно улучшает условия зрительной работы, снижает утомление, способствует повышению производительности труда и качества выпускаемой продукции. Благоприятно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего; повышает безопасность труда и снижает травматизм на производстве.

С одной стороны, существует опасность отрицательного влияния на органы зрения слишком большой яркости источников света, а так же больших перепадов яркости соседних объектов. Следствием этого является временное нарушение зрительных функций глаза (явление слепимости) со всеми, вытекающими отсюда негативными последствиями нежелательными как для трудовой деятельности, так и для самого человека. В то же время рациональное освещение производственных помещений оказывая положительное психофизиологическое воздействие на работающих, способствует повышению производительности труда, обеспечению его

безопасности, сохранению высокой работоспособности человека в процессе труда.

К промышленному освещению предъявляются следующие требования:

- освещение на рабочем месте должно соответствовать зрительным условиям труда согласно строительным нормам СНиП 23–05–95;
- необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а также в пределах окружающего пространства;
- в поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная блескость;
- величина освещенности должна быть постоянной во времени;
- осветительная установка не должна быть источником дополнительных опасностей и вредностей.

Существует три вида освещения: общее; местное; комбинированное.

В производственном помещении должно быть обеспечено естественное освещение. Световые проемы не допускаются загромождать оборудованием и следует очищать от пыли по мере загрязнения.

На данном участке используется комбинированное освещение, которое соответствует требованиям СНиП 23–05–95. Для освещения общего надзора за эксплуатацией оборудования применяются люминесцентные лампы СЗ–4ДРЛ. Для местного освещения люминесцентные лампы ЛД.

Расчет общего равномерного искусственного освещения рабочей поверхности выполняется методом коэффициента использования светового потока. Применяя этот метод, можно определить световой поток ламп, необходимый для создания заданной поверхности с учетом света, отраженного стеклами и потолком.

Величина светового потока лампы определяется по формуле (6.1):

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta}, \quad (6.1)$$

где  $\Phi$  – световой поток каждой из ламп, лм;

$E$  – минимальная освещенность, лк;

$K$  – коэффициент запаса;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$z$  – коэффициент неравномерности освещения;

$n$  – число ламп в помещении;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Величина освещенности  $E$  выбирается из таблицы 4.1 [12], исходя из следующих величин:

- характеристика зрительной работы: наивысшей точности;
- наименьший размер объекта различения: менее 0,15 мм;
- разряд зрительной работы: 1;
- под разряд зрительной работы: Б;
- контраст объекта с фоном: средний;
- характеристика фона: средний.

Следовательно, величина освещенности должна составлять 4500 лк – общего освещения.

По таблице 4.8 [12], для помещений со средним выделением пыли коэффициент запаса  $K=1,5$ .

Наименьшая высота подвеса светильников над полом находится по таблице 4.7 [12]; для светильников ГС (Глубоко излучатель со средней концентрацией потока) в матированной колбе равна 2.5 м. Принимаем высоту подвеса светильников над полом равной 4 м. Следовательно, высота подвеса светильников над рабочей поверхностью составит:

$$h = 4 - 1 = 3 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками определяется по формуле (6.2):

$$L = \lambda \cdot h, \quad (6.2)$$

где  $L$  – расстояние между светильниками, м;

$\lambda$  – наивыгоднейшее расположение светильников определяется по формуле (6.3).

$h$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

$$\lambda = \frac{L}{h}, \quad (6.3)$$

Из таблицы 4.9 [12],  $\lambda=1$ .

$$L = 1,6 \cdot 3 = 4,8 \text{ м.}$$

Наибольшая равномерность освещения имеет место при размещении светильников по углам прямоугольника. Расстояние от стен помещения до крайних светильников равно:

$$\frac{1}{3} \cdot L = \frac{1}{3} \cdot 4,8 = 1,6 \text{ м;}$$

$$24 - 2 \cdot 1,6 = 20,8 \text{ м;}$$

$$\frac{20,8}{4,8} = 4,3 \text{ м.}$$

Принимаем четыре светильника в продольном направлении и два в поперечном.

Количество светильников:  $n=8$ .

Для определения коэффициента использования светового потока определим индекс помещения по формуле (6.4):

$$I = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (6.4)$$

где  $I$  – индекс помещения;

$S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;

$h$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м,

$A, B$  – стороны помещения, м.

$$I = \frac{216}{4,8 \cdot (24 + 9)} = 1,36.$$

По таблице 4.14 [12], коэффициент использования светового потока  $\eta=43\%$ .

Коэффициент неравномерности освещения  $z=1,6$ .

$$\Phi = \frac{450 \cdot 1,5 \cdot 216 \cdot 1,6}{4,8 \cdot 0,43} = 113023,25 \text{ лм.}$$

Принимаем: 8 светильников ГС (Глубоко излучатель со средней концентрацией потока) в матированной колбе 1500 Вт ( $\Phi=28000$  лм).

Микроклимат на рабочем месте в лабораторных помещениях определяется температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью движения воздуха, барометрическим давлением.

Температура воздуха поддерживается постоянной зимой – за счёт отопительных систем, летом – за счёт вентиляции.

Вентиляция – это организованный воздухообмен в помещениях. По способу перемещения воздуха подразделяются на:

- естественную (аэрация, проветривание);
- механическую (приточная, приточно-вытяжная).

По характеру охвата помещений различают:

- общеобменную;
- местную.

По времени действия:

- постоянно действующая;
- аварийная.

Работа вентиляционной системы создаёт на постоянных рабочих местах метеорологические условия и чистоту воздушной среды, соответствующие действующим санитарным нормам СанПиН 2.2.4.548096.

Применяется приточно-вытяжная вентиляция, т. к. при проведении экспериментов отсутствует выделение вредных веществ.

Микроклимат производственного помещения лаборатории голографической интерферометрии соответствует СанПиН 2.2.4.548096.

### 6.3 Разработка методов защиты от вредных и опасных факторов

Защитное заземление является простым, эффективным и широко распространённым способом защиты человека от поражения электрическим током. Обеспечивается это снижением напряжения оборудования, оказавшегося под напряжением и землёй до безопасной величины.

Конструктивными элементами защитного заземления являются заземлители – металлические проводники, находящиеся в земле, и заземляющие проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем.

В лаборатории голографической интерферометрии применяются искусственные заземлители – вертикально забитые стальные трубы длиной 2,5 метров и диаметром 20 мм.

Сопротивление заземляющего устройства для электроустановок мощностью до 100 кВт и напряжением до 1000 В должно быть не более 10 Ом. На проектируемом участке применено контурное заземляющее

устройство, которое характеризуется тем, что его одиночные заземлители размещают по контуру площадки, на котором находится заземляемое оборудование.

Для связи вертикальных электродов используется полосовая сталь сечением  $1 \times 12$  мм. В качестве заземляющих проводников, предназначенных для соединения заземляющих частей с заземлителями, применяют, как правило, полосовую сталь.

Сущность расчёта защитного сопротивления сводится к определению числа вертикальных заземлителей и длины соединительной полосы.

Глубина заземления составляет 0,8 м, почва – суглинок.

Сопротивление одиночного заземлителя  $R_3$ , вертикально установленного в землю, определяется по формуле (6.5):

$$R_3 = \frac{\rho_r \cdot \pi \cdot l_m}{2 \ln\left(4 \cdot \frac{h_m}{d}\right)}, \quad (6.5)$$

где  $d$  – диаметр трубы заземлителя, см:  $d = 2$  см;

$\rho_r$  – удельное сопротивление грунта, Ом·см:  $\rho_r = 10^4$  Ом·см;

$l_m$  – длина трубы, см:  $l_m = 250$  см;

$h_m$  – глубина заковки трубы в землю, равная расстоянию от поверхности земли до середины трубы, см:  $h_m = 205$  см.

Определим сопротивление одиночного заземлителя, вертикально установленного в землю:

$$R_3 = \frac{10^4 \cdot \pi \cdot 250}{2 \ln\left(4 \cdot \frac{205}{2}\right)} = 17 \text{ Ом.}$$

Определяем требуемое число заземлителей  $\Pi$ , по формуле (6.6):

$$\Pi = \frac{R_3}{R \cdot \eta}, \quad (6.6)$$

где  $\eta$  – коэффициент использования группового заземлителя,  $\eta = 0,8$ .

$$\Pi = \frac{16}{5 \cdot 0,8} = 2,56 \text{ шт.},$$

Принимаем  $\Pi = 3$  шт.

Длину соединительной полосы определяем по формуле (6.7):

$$l_n = 1,05 \cdot a \cdot (\Pi - 1), \quad (6.7)$$

где  $a$  – расстояние между заземлителями, м.

$$l_n = 1,05 \cdot 5 \cdot (3 - 1) = 10,5 \text{ м.}$$

Сопротивление соединительной полосы по формуле (6.8):

$$R_n = \left( \frac{p_n}{2} \cdot \pi \cdot \ln \right) \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot \ln^2}{l_n \cdot b} \right), \quad (6.8)$$

где  $p_n$  – удельное сопротивление грунта, Ом·см:  $p_n = 10^4$  Ом·см;

$l_n$  – длина полосы, см:  $l_n = 4200$  см;

$h_n$  – глубина заковки трубы в землю, см:  $h_n = 80$  см;

$b$  – ширина полосы, см:  $b = 1,2$  см.

$$R_n = \left( \frac{10^4}{2} \cdot \pi \cdot 4200 \right) \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 4200^2}{80 \cdot 1,8} \right) = 4,8 \text{ Ом.}$$

Результирующее сопротивление по всей системе с учётом соединительной полосы и коэффициентов использования определяется по формуле (6.9):

$$R_c = \frac{R_s \cdot R_n}{R_s \cdot \eta_n + R_n + \eta_n \cdot \Pi}, \quad (6.9)$$

где  $\eta_3$  – коэффициент использования труб контура,  $\eta_3 = 0,8$ ;

$\eta_n$  – коэффициент использования полосы,  $\eta_n = 0,7$ .

Подставив значения в формулу получим:

$$R_c = \frac{17 \cdot 4,8}{17 \cdot 0,7 + 4,8 + 0,8 \cdot 3} = 4,27 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}$$

Движущиеся органы станков могут нанести травму работающему, поэтому на силовой установке предусмотрено ограждение в виде рамки которое ограничивает доступ к опасным элементам установки. Не допускается работать на установке в расстёгнутой одежде. Работники, имеющие длинные волосы должны убирать их под головной убор.

Шум – любой нежелательный звук, воспринимаемый органом слуха человека. Представляет собой беспорядочное сочетание звуков различной интенсивности и частоты. В соответствии с классификацией шумов, установленной СН 2.2.4/2.1.8.562-96 шумы делятся:

- широкополосные;
- тональные;
- постоянные;
- непостоянные;
- прерывистые;
- колеблющиеся;
- импульсные.

В борьбе с производственным шумом применяются методы:

- уменьшение шума (совершенствование технологических операций и применяемого оборудования);

- ослабление на пути следования шума (проводится акустическая обработка помещений, основанная на явлении поглощения звука волокнисто-пористыми материалами);

Предельно допустимый уровень шума на рабочих местах установлен СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и составляет 85 Дб.



Вибрация – механические колебания упругих тел или колебательные движения механических систем. По характеру действия на организм человека вибрацию подразделяют на общую (действует на всё тело) и местную (действует только на руки рабочего). Для уменьшения уровня вибрации применяют виброизоляцию. Между источником и объектом помещаются упругие элементы – амортизаторы. Предельно допустимая норма вибраций по СН 2.2.4/2.1.8.566-96: общая – 92 ДБ; местная – 120 ДБ.

При обработке металлов резанием образуется элементная стружка. Образующиеся элементы стружки сходят по поверхности режущего инструмента под действием собственного веса, что не несет опасности для человека во время проведения эксперимента. Поскольку при проведении эксперимента проводится регистрация компонент силы резания, применение СОТС не допустимо из-за подачи электрического тока к динамометру, который контактирует с режущим инструментом.

Правильное расположение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых движений, использование оборудования отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают утомляемость и предотвращают опасность получения травм и возникновения профессиональных заболеваний. Неправильное положение тела на рабочем месте приводит к возникновению статической усталости, снижению качества и скорости работы, а так же снижению реакции на опасность.

Таким образом, для обеспечения эффективной и безопасной трудовой деятельности работника нужно учитывать все ниже перечисленные факторы. Их несоблюдение ведёт к психической нестабильности, а именно, раздражительности, нервозности и утомляемости работника, что негативно сказывается на здоровье работающего и на производстве.

#### 6.4 Разработка мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

С целью защиты работников и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий предприятие создаёт и содержит в постоянной готовности необходимые защитные сооружения и организации гражданской обороны в соответствии с федеральными законами РФ от 21.12.94 №66 «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного характера», от 12.02.98 №28 «О гражданской обороне» и постановлением правительства РФ №620 от 10.06.99 «О гражданских организациях гражданской обороны».

Одной из чрезвычайных ситуаций является пожар. Пожарная безопасность – это такое состояние объекта, при котором исключается возможность возникновения пожара, а в случае его возникновения

предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей.

Лабораторные помещения, в которых осуществляется проведение экспериментальных исследований, в том числе и обработка резанием, должны соответствовать требованиям СНиП II-2-80, СНиП II-89-80, санитарных норм проектирования промышленных предприятий СНиП II-92-76. Лаборатория должна быть оборудована средствами пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83:

- огнетушитель порошковый ОП-2 для тушения лакокрасочных материалов и оборудования под напряжением – 2 шт;
- песок (чистый и сухой) для тушения электроустановок под напряжением – 0,5 м<sup>3</sup>;
- кран внутреннего пожарного водопровода – 1 шт;
- огнетушитель углекислотный ОУ-8 – 2 шт.

При проектировании и строительстве производственных зданий (электромашинных помещений, трансформаторных подстанций) необходимо учитывать категорию пожароопасности производства. Согласно СНиП 2-90-81 в зависимости от характеристики обрабатываемых в производстве веществ и их количества производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на шесть категорий: А, Б, В, Г, Д и Е. Производства категорий А, Б, В характеризуется обращением горючих газов, жидкостей, пылей с различными показателями пожароопасности от более опасных до менее опасных: категория А - склады бензина, аккумуляторные; категория Б - размольные отделения мельниц, мазутное хозяйство; категория В - применение и хранение масел, узлы пересыпки угля; категория Г - наличие веществ, материалов в горячем, раскаленном, расплавленном состоянии (котельные, литейные, кузнечные); категория Д - наличием негорючих веществ в холодном состоянии (электроремонтные мастерские, щитовые и тп.); категория Е - взрывоопасные производства - наличие газов и взрывоопасной пыли, но в таком количестве, что возможен только взрыв без последующего горения (зарядные станции). Согласно СНиП 2-90-81 рассматриваемая лаборатория принадлежит категории Д.

Рабочие должны быть проинструктированы о действиях, которые они должны будут выполнить в случае возникновения чрезвычайной ситуации. В рабочем коллективе необходимо назначить ответственных за пожаробезопасность. В здании института должно быть оборудовано место для курения. На рабочих местах курить строго запрещается.

## 6.5 Обеспечение экологической безопасности и охраны окружающей среды

Проблема защиты окружающей среды одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем и транспорта в атмосферу, водоёмы достигают больших размеров.

Данное производство, т. е. экспериментальное исследование, не является вредным, нет значительных выбросов вредных веществ, пыли в атмосферу. Выбросы соответствуют допустимым по ГОСТ 17.2.302–78, поэтому их очистка не предусмотрена.

В процессе производства образуется не большое количество отходов, которые при соответствующей обработке могут быть использованы, как сырьё для промышленной продукции. Отходы вывозятся из лаборатории для переработки и для захоронения на полигонах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен обзор литературы, произведены исследования модели, построены графики по результатам исследования.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан техпроцесс механической обработки внешнего корпуса модуля сопряжения для единичного производства.

В спроектированном технологическом процессе применено современное металлорежущее оборудование что в значительной степени снижает трудоемкость и повышает точность обрабатываемой детали.

Выбранные средства технологического оснащения позволили повысить режимы резания, что значительно сократило время на изготовление и общую трудоемкость.

В конструкторской части спроектировано приспособление для токарно-карусельного станка.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Р 50-605-80-93. Рекомендации. Система разработки и постановки продукции на производство. Термины и определения.
- 2 Суслов А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
- 3 Разработка и испытание щитового вращающегося проходческого агрегата ЭЛАНГ / В.Ф. Горбунов [и др.] // Шахтное строительство. – 1985. – № 6. – С. 8-11.
- 4 Горбунов В.Ф. Разработка и шахтные испытания вращающегося проходческого агрегата ЭЛАНГ / В.Ф. Горбунов, А.Ф. Эллер, В.В. Аксенов // Уголь. – 1989. – № 9. – С. 33-34.
- 5 Аксенов В.В. Геовинчестерная технология и геходы - инновационный подход к освоению подземного пространства / В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков // Эксперт-Техника. – 2008. – № 1. – С. 18-22.
- 6 Капустин А.Н. Определение основных требований к корпусу (носителю) горнопроходческой машины нового класса / А.Н. Капустин, В.Ю. Бегляков // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы III Международной науч.- практ. конф. – Междуреченск: КузГТУ, 2014. – С. 16-17.
- 7 Формирование требований к основным системам гехода / В.В. Аксенов [и др.] // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mininginformationalandanalyticalbulletin (Scientificandtechnicaljournal). Перспективы развития горно-транспортных машин и оборудования. – 2009. – Т. 10. – № 12. – С. 107-118.
- 8 Аксенов В.В. Особенности работы внешнего движителя гехода / В.В. Аксенов, И.К. Костинец, В.Ю. Бегляков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S6. – С. 419-425.
- 9 Аксенов В.В. Специфика гехода как предмета производства / В.В. Аксенов, А.В. Вальтер // Научное обозрение. – 2014. – Т. 8, Ч. 3. – С. 945-950.
- 10 Коган Б.И. Ремонтно-технологический блок для обеспечения качества монтажа крупнотонажных узлов горных машин / Б.И. Коган, М.Ю. Дрыгин // Обработка металлов. – 2012. – Т. 4. – № 57. – С. 15-18.
- 11 Classification of geokhod units and systems based on product cost analysis and estimation for a prototype model production / V.V. Aksenov [и др.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Т. 91. – С. 12088.
- 12 Медарь А.В. Точностной анализ в технологическом проектировании сборочных процессов / А.В. Медарь // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – № 1 (102). – С. 37-42.
- 13 Вальтер А.В. Варианты обеспечения точности оболочек и собираемости корпусов гехода / А.В. Вальтер, В.В. Аксенов // Механики XXI века. – 2015. – № 14. – С. 89-92.

- 14 Геоходы - основа создания нового геотехнологического инструментария для формирования подземного пространства и подземной робототехники / В.В. Аксенов [и др.] // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2016. – С. 212-223.
- 15 Lowth S. An assessment of “variation conscious” precision fixturing methodologies for the control of circularity within large multi-segment annular assemblies / S. Lowth, D.A. Axinte // Precision Engineering. – 2014. – Vol. 38. – P. 379-390.
- 16 Аксенов В.В. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода / В.В. Аксенов, А.В. Вальтер, В.Ю. Бегляков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 4 (65). – С. 19-28.
- 17 Walter A.V. Determining deviations in geometry of the geokhod shells / A.V. Walter, V.V. Aksenov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Т. 770. – С. 439-444.
- 18 Вальтер А.В. Математическое обеспечение обработки данных координатного контроля оболочки геохода / А.В. Вальтер, В.В. Аксенов, П.А. Чазов // Технологии и материалы. – 2015. – № 3. – С. 4-9.
- 19 Вальтер А.В. Определение величины и характера геометрических погрешностей оболочки модуля сопряжения опытного образца геохода / А.В. Вальтер, В.В. Аксенов, Р.В. Чернухин // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 42-47.
- 20 Camelio J.A. Impact of Fixture Design on Sheet Metal Assembly Variation / J.A. Camelio, S.J. Hu, D. Ceglarek // Journal of Manufacturing Systems. – 2004. – Vol. 23. – № 3. – P. 182-193.
- 21 Memon M. Minimizing Assembly Errors by Selecting Optimum Assembly Sequence in the Assembly of a Rigid Circular Structure / M. Memon, T. Hussain, Z.A.L.I. Memon // Mehran University Research Journal of Engineering & Technology. – 2012. – Vol. 31. – № 4. – P. 743-754.
- 22 Chen Z. Influence of welding sequence on welding deformation and residual stress of a stiffened plate structure / Z. Chen, Z. Chen, R.A. Shenoï // Ocean Engineering. – 2015. – Vol. 106. – P. 271-280.
- 23 Аксенов В.В. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода / В.В. Аксенов, А.В. Вальтер, В.Ю. Бегляков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 4 (65). – С. 19-28.
- 24 Walter A.V. Determining deviations in geometry of the geokhod shells / A.V. Walter, V.V. Aksenov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Т. 770. – С. 439-444.

- 25 Вальтер А.В. Определение припуска на поверхности вращения сборных корпусных изделий геохода / А.В. Вальтер, С.Е. Лагунов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 152-157.
- 26 Вальтер А.В. Математическое обеспечение обработки данных координатного контроля оболочки геохода / А.В. Вальтер, В.В. Аксенов, П.А. Чазов // Технологии и материалы. – 2015. – № 3. – С. 4-9.
- 27 Координатно-измерительные машины и комплексы / А.И. Пекарщ [и др.] // Наука и технологии в промышленности. – 2011. – № 3. – С. 36-48.
- 28 Анализ геометрии косоугольного растачивания безвершинными радиусными резцами в статической и кинематической системах координат / А.В. Филиппов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 4 (673). – С. 82-91.
- 29 Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. С74 Т.1/ Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. - 656 с., ил.
- 30 <http://coroguide.sandvik.coromant.com/CuttingDataModule/CDMMMainMenu.asp?Lang=RUS&Metric=metric>
- 31 Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительное для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 422 с.
- 32 Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. С74 Т.2/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 496 с., ил.
- 33 Станочные приспособления: Справочник в 2-х томах. Т. 1 / Под общ ред. Б.Н. Вардашкина. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.
- 34 ФЮРА. 612322.401.0.00.00.000ПЗ. Геоход. Технический проект. Пояснительная записка. – Юрга: ЮТИ ТПУ, 2014. – 238 с.
- 35 Аксенов В.В., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 4 (65). – С. 19-28.
- 36 Walter A.V., Aksenov V.V. Determining deviations in geometry of the geokhod shells // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 770. – pp. 439-444.
- 37 Аксенов В.В., Тимофеев В.Ю., Сапожкова А.В., Горбунов В.Ф. К вопросу о создании новой технологии проведения аварийно-спасательных выработок при ликвидации техногенных катастроф // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mininginformationalandanalyticalbulletin (Scientificandtechnicaljournal). – 2011. – № 9. – С. 60-67.

38 Солдатова А.А. Погрешность изготовления корпусов вращения геохода // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи. В 2-х томах. Том 1 / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 640 с.