

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
 Отделение школы Отделение машиностроения (ОМШ)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Станок ЧПУ портального типа с элементами из синтегран

УДК 621.9.06-529

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Плотер Андрей Адольфович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Крауиньш Д.П.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Маланина В. А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Антоневич О.А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 15.04.05 Машиностроение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Бибик В.Л.	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль подготовки «Конструирование технологического оборудования» ИШНПТ ТПУ, Отделение Машиностроения, руководитель ООП Бибики В. Л.

Код результата	Наименование компетенции
Проектно-конструкторская деятельность	
ПК-1	<p>Способен формулировать цели проекта (программы), задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, строить структуру их взаимосвязей, разрабатывать технические задания на создание новых эффективных технологий изготовления машиностроительных изделий, производств различного служебного назначения, средства и системы их инструментального, метрологического, диагностического и управленческого обеспечения, на модернизацию и автоматизацию действующих в машиностроении производственных и технологических процессов и производств, средства и системы, необходимые для реализации модернизации и автоматизации, определять приоритеты решений задач.</p>
ПК-2	<p>Способен участвовать в разработке проектов машиностроительных изделий и производств с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, разрабатывать обобщенные варианты решения проектных задач, анализировать и выбирать оптимальные решения, прогнозировать их последствия, планировать реализацию проектов, проводить патентные исследования, обеспечивающие чистоту и патентоспособность новых проектных решений и определять показатели технического уровня проектируемых процессов машиностроительных производств и изделий различного служебного назначения.</p>
ПК-3	<p>Способен составлять описания принципов действия проектируемых процессов, устройств, средств и систем конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств, разрабатывать их эскизные, технические и рабочие проекты, проводить технические расчеты по выполняемым проектам, технико-экономическому и функционально-стоимостному анализу эффективности проектируемых машиностроительных производств, реализуемых ими технологий изготовления продукции, средствам и системам оснащения, проводить оценку инновационного потенциала выполняемых проектов и их риски.</p>

ПК-4	Способен выполнять разработку функциональной, логической, технической и экономической организации машиностроительных производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на основе современных методов, средств и технологий проектирования.
-------------	---

Научно-исследовательская деятельность	
ПК-15	Способен осознавать основные проблемы своей предметной области, при решении которых возникает необходимость в сложных задачах выбора, требующих использования современных научных методов исследования, ориентироваться в постановке задач и определять пути поиска и средства их решения, применять знания о современных методах исследования, ставить и решать прикладные исследовательские задачи.
ПК-16	Способен проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с данными принятых моделей для проверки их адекватности и при необходимости предлагать изменения для улучшения моделей, выполнять математическое моделирование процессов, средств и систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований, разрабатывать теоретические модели, позволяющие исследовать качество выпускаемых изделий, технологических процессов, средств и систем машиностроительных производств.
ПК-17	Способен использовать научные результаты и известные научные методы и способы для решения новых научных и технических проблем, проблемно-ориентированные методы анализа, синтеза и оптимизации конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств, разрабатывать их алгоритмическое и программное обеспечение.
ПК-18	Способен разрабатывать методики, рабочие планы и программы проведения научных исследований и перспективных технических разработок, готовить отдельные задания для исполнителей, научно-технические отчеты, обзоры и публикации по результатам выполненных исследований, управлять результатами научно-исследовательской деятельности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности, осуществлять ее фиксацию и защиту, оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной научно-исследовательской работы.
ПК-19	Способен к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с основной образовательной программой магистратуры).

Научно-педагогическая деятельность	
ПК-20	Способен участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической отечественной и зарубежной литературы, а также собственных исследований, в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам программ магистратуры.
ПК-21	Способен проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий, включая лабораторные и практические, применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения, обеспечивать научно-исследовательскую работу обучающихся.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: 15.04.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Отделение школы Отделение машиностроения (ОМШ)

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата)
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ11	Плотер Андрей Адольфович

Тема работы:

Станок ЧПУ портального типа с элементами из синтеграна	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№37-49/с от 06.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.05.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Методами математического моделирования рассчитать и испытать рабочие нагрузки элементов конструкции 3х координатного станка портального типа с деталями из синтетрана
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы, коммерческих достижений; 2. Расчет и чертежи конструкции станка; 3. Создание 3D модели станка для исследования; 4. Проведение исследования с использованием многоцелевого пакета программ для численного моделирования физических процессов и явлений в области прочности Ansys 2021 R1 5. Анализ результатов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Трёхмерная модель трёхкоординатного станка;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина Вероника Анатольевна
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна
Иностранный язык	Тайдонова Светлана Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
«ГЛАВА – Социальная ответственность»	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Дмитрий Петрович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Плотер Андрей Адольфович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 15.04.05 Машиностроение

Уровень образования _____

Отделение школы (НОЦ) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Период выполнения _____ (2020/2023 учебные года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
4НМ11	Плотер Андрей Адольфович

Тема работы:

Станок ЧПУ портального типа с элементами из синтегран

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	21.05.23 г.
--	-------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.02.2023	Обзор источников информации.	20
11.02.2023	Формулировка технического задания.	10
25.03.2023	Компоновка станка. Расчёт и подбор комплектующих. Создание сборочного чертежа.	20
20.04.2023	Создание модели комплектующих: линейных подшипников, швп, шпинделя, станка. Моделирование элементов конструкции.	20
14.05.2023	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	10
14.05.2023	Оформление разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», "Иностранный язык"	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Дмитрий Петрович	к.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ11	Плотер Андрей Адольфович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМШ
Уровень образования	магистрант	Направление/специальность	"Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами. Размер окладов ППС и НС ТПУ определены штатным расписанием ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициенты для расчёта заработной платы. Накладные расходы. Расходы на командировки. Наценка на доставку и монтаж оборудования. Транспортно – заготовительные расходы.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30%. Ставка дисконтирования 10%, Налог 20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1.1 Потенциальные потребители результатов исследования. 1.2 Анализ конкурентных технических решений. 1.3 SWOT – анализ. 1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации. 1.5 Методы коммерциализации НТИ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	2.1 Цели и задачи проекта. 2.2 Организационная структура проекта. 2.3 Организация и допущения проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	3.1 Иерархическая структура работ проекта. По этапам. 3.2 План проекта. 3.3 Бюджет научного исследования. 3.4 Организационная структура проекта. 3.5 План управления коммуникациями проекта. 3.8 Реестр рисков.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования. 4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка потребителей станков с ЧПУ с станиной из синтетрана
2. Иерархическая структура работ проекта по этапам.
3. Организационная структура проекта.
4. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.02.2023
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Маланина Вероника Анатольевна	канд. экон. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Плотер Андрей Адольфович		13.02.2023

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
4НМ11		Плотер Андрей Адольфович	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМШ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Тема ВКР:

Станок с ЧПУ портального типа с элементами из интеграла	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> станок с ЧПУ <i>Область применения:</i> машиностроение. <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение. <i>Размеры помещения:</i> 10*12 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> бетономешалка 0,25 м3, вибростол, верстаки – 2 шт., ручной электроинструмент, измерительный инструмент, сверлильный станок, персональный компьютер, принтер. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> перемешивание гранитного щебня с эпоксидным клеем в бетономешалке. Укладка смеси в формы и уплотнение на вибрационном столе. Сборка, юстировка элементов станины с комплектующими на верстаках.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Приказ Минтруда России от 27.11.2020 N 833н. Об утверждении Правил по охране труда при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования (Зарегистрировано в Минюсте России 11.12.2020 N 61413)></p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ Р ИСО 6385-2016 Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; 2. действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение твердых, сыпучих, жидких объектов на работающего; 3. движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся

	<p>изделия, заготовки, материалы;</p> <p>Вредные факторы:</p> <p>1. микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего;</p> <p>2. производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризуются:</p> <p>повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума;</p> <p>3. производственные факторы, связанные со световой средой:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения; - отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения; <p>4. производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> - через органы дыхания (ингаляционный путь); - через кожные покровы и слизистые оболочки (кожный путь); <p>5. производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха;</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <p>Респираторы, наушники, защитные костюмы, перчатки, защитные очки, маски, местная приточно-вытяжная вентиляция.</p> <p>Расчёт: расчёт искусственного освещения, местной вентиляции.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на санитарно-защитную зону: КЛАСС IV - санитарно-защитная зона 100 м - Машиностроительные предприятия с металлообработкой, покраской без литья. Химическое загрязнение атмосферного воздуха.</p> <p>Воздействие на литосферу: твёрдые отходы. Класс опасности III, IV, V;</p> <p>Воздействие на гидросферу: бытовые (канализационные) стоки.</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционной системы содержащие продукты испарения эпоксидного клея.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <p><i>Техногенные</i> – пожар;</p> <p><i>Антропогенные</i> – разлив эпоксидной смолы;</p> <p>Наиболее типичная ЧС: разлив эпоксидной смолы</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	Кандидат биологических наук		22.02.23

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Плотер Андрей Адольфович		22.02.23

РЕФЕРАТ

Написана на 225 страницах текста, содержит 87 рисунков, 38 таблиц, список используемых источников включает 52 наименований, 4 приложения.

Ключевые слова: фрезерный станок портального типа, полимербетон, синтегран, численное моделирование Ansys 21 R1, гармонический отклик.

Предметом исследования является: фрезерный станок портального типа с станиной выполненной методом полимерного литья синтеграна в формы с закладными деталями.

Цель работы: провести численное моделирование различных условий (нагрузок, сил, действующих станину станка) с использованием многоцелевого пакета программ для численного моделирования физических процессов и явлений в области прочности Ansys 2021 R1.

В процессе работы проводились: Моделирование статической нагрузки на станок. Получены модальные частоты колебаний. Выявлено влияние модальных частот при гармоническом приложении внешней нагрузки. Использовался многоцелевой программный комплекс Ansys 2021 R1.

В результате исследования выяснилось, что точность обработки заготовок из алюминиевых сплавов при максимальных возможных усилиях резания 340 Н, даёт погрешность обработки 0,56 мм. А попадание в интервал заявленной точности 0,01 мм, возможно при усиллии резания до 70 Н.

Основные конструкционные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Станок ЧПУ портального типа, 3х координатный, с движением по осям X 450 мм Y 650 мм Z 250 мм оснащённый мотор-шпинделем с автосменой инструмента.

Практическая значимость: в возможности использования полученных результатов для дальнейшего применения в единичном изготовлении станин

точных механизмов, станков. А также отработке навыков владения программными модулями численного моделирования.

Область применения: малые и средние предприятия машиностроительного направления, учебные заведения, индивидуальные потребители.

Экономическая эффективность/значимость работы определена путем анализа и оценки научно-технического уровня исследования.

Report

It is written on 225 pages of text, contains 87 figures, 38 tables, the list of sources used includes 52 titles, 4 appendices.

Keywords: portal type milling machine, polymer concrete, syntegran, numerical simulation of Ansys 21 R1, harmonic response.

The subject of research: is a portal-type milling machine, with a frame made by the method of polymer casting of syntegran into molds with embedded parts.

In the process of work, the following were carried out: Modeling of static load on the machine. Modal oscillation frequencies are obtained. The influence of modal frequencies with harmonic application of external load is revealed. The multi-purpose software package Ansys 2021 R1 was used.

As a result of the study, it turned out that the accuracy of processing workpieces made of aluminum alloys with the maximum possible cutting forces of 340 N, gives a processing error of 0.56 mm. And getting into the interval of the claimed accuracy of 0.01 mm is possible with a cutting force of up to 70 N.

The main structural, technological and technical and operational characteristics: Portal type machine, 3x coordinate, with movement along the axes X 450 mm U 650 mm Z 250 mm equipped with a motor-spindle with automatic tool change.

Practical significance: in the possibility of using the results obtained for further use in the single manufacture of precision machines, machine tools. As well as working out the skills of owning software modules of numerical modeling.

Scope of application: small and medium-sized machine-building enterprises, educational institutions, individual consumers.

The economic efficiency/significance of the work is determined by analyzing and evaluating the scientific and technical level of the study.

Оглавление

Введение	18
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.	
1. Основной раздел	
1.1 Обзор информационных источников	24
1.2 Конструкторская часть	
1.2.1 Выбор фрезы для алюминиевых сплавов. Расчёт режимов резания. Подбор шпинделя.	34
1.2.2 Расчёт линейных направляющих	35
1.2.3 Расчёт шарико-винтовой пары	36
1.2.4 Жёсткость станка	38
1.3 Моделирование	
1.3.1 Линейных подшипников	42
1.3.2 Шарико-винтовой передачи	44
1.3.3 Шпинделя	47
1.3.4 Упрощение сборки станка	48
1.3.5 Деформации возникающие от силы тяжести	50
1.3.6 Деформации при статической нагрузке вдоль осей X и Y	51
1.3.7 Подбор силы резания для попадания в допуск 0,01 мм	55
1.4 Модальный анализ	56
1.5 Гармонический анализ, метод суперпозиции мод	62
1.6 Выводы по разделу	69
2. Финансовый менеджмент	
2.1 Предпроектный анализ.	
2.1.1 Потенциальные потребители результатов Исследования	71

2.1.2 Анализ конкурентных технических решений	72
2.1.3 SWOT – анализ	73
2.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	77
2.1.5 Методы коммерциализации НТИ	79
2.2 Инициация проекта	
2.2.1 Цели и результат проекта	81
2.2.2 Организационная структура проекта	83
2.2.3 Ограничения и допущения проекта	83
2.3 Планирование управления научно-техническим проектом	
2.3.1 Иерархическая структура работ проекта. По этапам	85
2.3.2 План проекта	86
2.3.3 Бюджет научного исследования	89
2.3.4 Организационная структура проекта	99
2.3.5 План управления коммуникациями проекта	100
2.3.6 Реестр рисков	100
2.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	101
2.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	102
2.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования	109

3. Социальная ответственность	
3.1 Введение	114
3.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	115
3.3 Производственная безопасность	120
3.4 Экологическая безопасность	145
3.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	151
Заключение	152
4. Список используемых источников	154
Приложение А	159
Раздел на иностранном языке	160
Приложение Б	179
Выбор фрезы по материалу. Расчёт режимов резания.	
Подбор мотор-шпинделя.	180
Приложение В	185
Расчёт линейных направляющих	186
Приложение Г	201
Выбор шарико-винтовой передачи и серводвигателя по оси У	202
Приложение Д	222
Отчет о проверке заимствования	223

Введение

Современное программное обеспечение конструкторских разработок позволяет создавать изделия без этапа опытно конструкторских работ. Это существенно экономит финансы и позволяет успешно конкурировать на внутреннем и даже мировых рынках.

Предмет исследования: 3х координатный фрезерный станок портального типа с станиной из синтеграна.

Таблица 1. Характеристики станка для проектирования.

№	Характеристики станка	Значение	Ед.изм.
1	Ход по оси X	450	мм
2	Ход по оси Y	650	мм
3	Ход по оси Z	250	мм
4	Размеры стола	400x600	мм
5	Обрабатываемый материал	Сплавы алюминия	
6	Точность обработки	0,01	мм

Методы исследования: численные методы моделирования в программной системе анализа методом конечных элементов Ansys 2021 R1.

Этапы исследования:

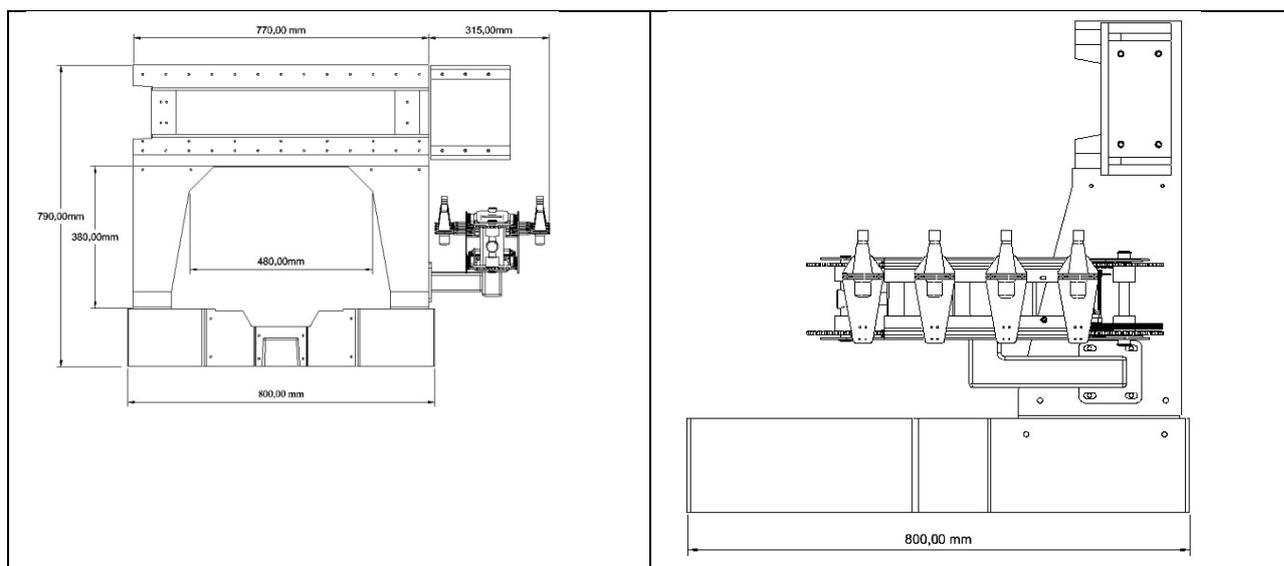
- изучение литературы, интернет-источников.
- расчёт, подбор комплектующих и создание чертежей станка потального типа с станиной из синтеграна*.
- упрощение геометрии модели для исследования в программной системе анализа методом конечных элементов Ansys 2021 R1.
- моделирование жёсткости стандартных узлов (кареток линейных подшипников, шВП).
- нахождение статической жёсткости модели;

- нахождение модальных частот модели;
- нахождение гармонического отклика модели;
- выводы по конструкции станка.

*Для исследования используем станок чпу с станиной из синтеграна FS3MG -2.0 [1]

Видео [2].

Рисунок 1. Размеры станка F53MG-2.0



Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

ШВП – шарико-винтовая пара;

МСМ – метод суперпозиции мод;

УНРС - "ultra-high performance concrete" - бетон ультравысоких технологий;

НСК – “hohl shaft kegel” - полый конический хвостовик;

CAD – “computer-aided design” - система автоматизированного проектирования;

САЕ - computer-aided engineering - системы инженерного анализа;

СПИД - станок приспособление инструмент деталь;

НТИ – национальная технологическая инициатива;

ЧПУ – числовое программное управление;

ППС - паритет покупательной способности;

SWOT анализ – S-сильные стороны, W-слабые стороны, О-возможности, Т-угрозы;

NPV – “net present value” - разность между всеми денежными притоками и оттоками, приведёнными к текущему моменту времени;

PI – “profitability inde” - Индекс прибыльности инвестиций;

IRR - “internal rate of return” - внутренняя норма доходности;

DPP – “discounted payback period” - дисконтированный срок окупаемости инвестиций;

ЧДП - чистый денежный поток;

КД - коэффициент дисконтирования;

ПДК - предельно допустимая концентрация;

ПТЭ - правила технической эксплуатации;

ПОТ - по охране труда;

ПУЭ - правила устройства электроустановок;

ФККО - федеральный классификационный каталог отходов;

АХОВ – аварийно-химически опасное вещество;

ЧС - чрезвычайная ситуация;

БФК - фильтры общего назначения, для противогозов;

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.4.021-75 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные.
2. Рабочее место при выполнении работ в положении стоя - ГОСТ 12.2.033-78.
3. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
4. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
5. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6. ГОСТ 12.4.034-85 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка»;
7. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
8. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общее требование безопасности.
9. ГОСТ Р 12.4.208-99 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Наушники. Общие технические требования.

- 10.ГОСТ 12.4.041-2001 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования»
11. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления СанПиН 2.1.7.1322-03
12. 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" (Зарегистрировано в Минюсте России 39.01.2008 N 10995).
- 13.ФЗ №123 от 22.07.2008 («Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»).
14. СП 149 12.13130.2009, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
15. ГОСТ Р 56211— 2014 Смолы эпоксидно-диановые не отверждённые.
16. ГОСТ12.3.002-14 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. (с поправкой).
17. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
18. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах".
19. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах"
- 20.ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования.
21. ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность общие требования и номенклатура защиты
22. ГОСТ Р 50571.16-2019 Электроустановки низковольтные. Часть 6.

23. Федеральный закон о трудовых пенсиях в Российской Федерации. от 17.12.2001 №173-ФЗ Редакция от 08.12.2020 №429-ФЗ
24. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
25. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ — Редакция от 19.12.2022
26. ГОСТ Р 22.8.05-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательные работы при ликвидации последствий аварий на химически опасных объектах

1. Основной раздел

1.1 Обзор информационных источников

Product(s) Used

Granta EduPack Introductory, [3]

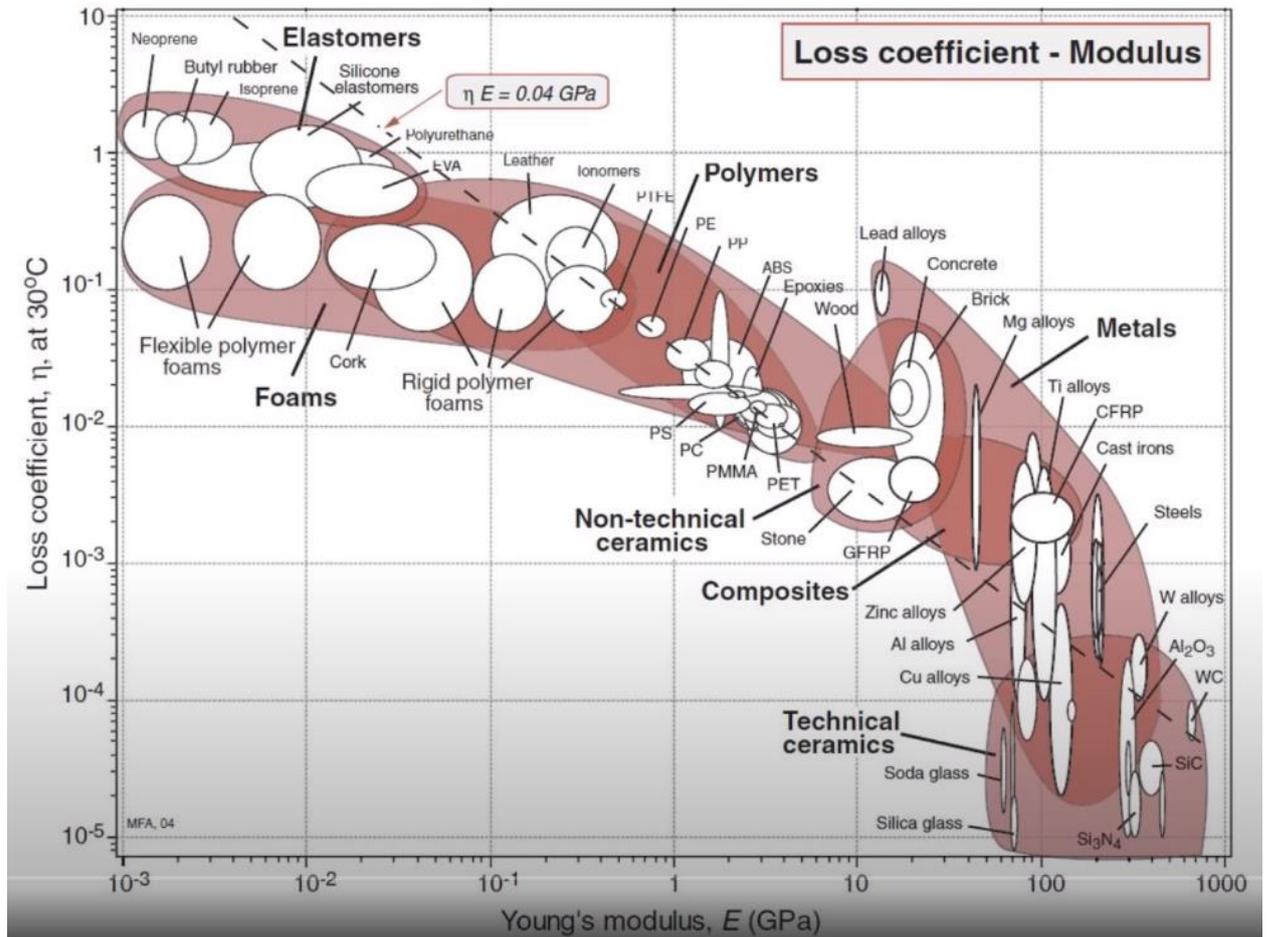


Рисунок 2 - График зависимости свойств демпфирования от модуля упругости различным материалам

На диаграмме представлены зависимость свойств демпфирования материалов от модуля упругости. Композиционный материал синтегран совмещает в себе два материала: эпоксидный клей (Epoxies) и гранитный щебень (Stone). Одни с большей жёсткостью другой с большим коэффициентом внутреннего трения.

Эти два материала совмещаясь в композите, располагаются выше, по шкале демпфирования, чем серый чугун (Cast irons) и сталь (Steel).

Большой коэффициент внутреннего трения приводит к большей диссипации механической энергию колебаний.

Швейцарская фирма Studer



Рисунок 3 - График амплитуды колебаний от частоты для серого чугуна и минерального литья Granitan S103



Рисунок 4 - Направляющие шлифовальных станков из металлополимера, полученные методом оттиска.

Разработанная фирмой Studer, проверенная на протяжении многих лет, структура материала изготавливается на промышленной установке фирмы Studer по самым современным производственным технологиям. Отличные демпфирующие свойства станины станка обеспечивают исключительное качество поверхности отшлифованных деталей. Кроме того, увеличивается

срок службы шлифовального круга, вследствие чего уменьшается вспомогательное время.

Кратковременные колебания температур значительно выравниваются благодаря высокой термической стабильности станины Granitan®. В результате этого, высокая точность выдерживается на протяжении всего рабочего дня.

Направляющие StuderGuide® для поперечного и продольного суппорта установлены прямо в станине станка и покрыты износостойкой защитой Granitan® S200. Направляющие обеспечивают во всем диапазоне скоростей высочайшую точность при высокой допустимой нагрузке и необходимое демпфирование. Благодаря надежному и не требующему обслуживания исполнению направляющие имеют почти неограниченный срок службы. Направляющие StuderGuide® для поперечного по оси X и продольного по оси Z перемещений суппорта шлифовальной бабки покрыты износостойкой защитой направляющих Granitan® S200 и обеспечивают во всем диапазоне скоростей высочайшую точность при высокой допустимой нагрузке. Инновационная система направляющих StuderGuide® характеризуется демпфирующим действием в направлении перемещения и повышает преимущества гидростатических направляющих с покрытием.

Привод суппортов осуществляется от линейных двигателей прямого действия с встроенными прямыми измерительными системами с разрешающей способностью 10 нм. Максимальная скорость продольного и поперечного перемещений суппортов составляет 20 м/мин. За счет этого обеспечивается высокоточное эффективное шлифование с коротким вспомогательным временем. Комбинация направляющих StuderGuide®, линейных двигателей прямого действия и встроенных измерительных систем гарантируют наивысшие точности интерполяции по осям [4].



Рисунок 5 - Частицы минерала связаны эпоксидным клеем, что создаёт хорошие демпфирующие свойства конструкции.

Сравнительные свойства материалов, использующихся для создания станин [5] в таблице 2.

Таблица 2 - Сравнительные свойства материалов, использующихся для создания станин.

Свойства материала, обозначение показателя		Единица измерения	СЧ20 чугун	Ст3 сталь	Минеральное литье	Бетон
Плотность	ρ	kg/dm ³	7,15	7,85	2,1–2,4	2,0–2,6
Коэффициент Пуассона	ν	–	0,26	0,2–0,3	0,25–0,3	0,15–0,25
Модуль упругости	E	kN/mm ²	88–113	210	30–45	20–45
Сопротивление сжатию	δD	N/mm ²	720	60–125	100–180	8–100
Сопротивление растяжению	δz	N/mm ²	200–300	350–470	10–20	1,6–10
Прочность при изгибе	δB	N/mm ²	290	65–140	25–35	2,5–6,5
Коэффициент теплового линейного расширения	α	10 ⁻⁶ K ⁻¹	10	12	12–20	6–14
Коэффициент теплопроводности	λ	W/m ² K	80	50	1,3–2,0	2,1
Удельная теплоемкость	Cp	kJ/kg ² K	0,5	0,45	0,9–1,1	1
Демпфирование (лог. декремент)	Δ	–	0,003	0,002	0,02–0,034	0,01
Собственная частота (куб 100 мм)	f _n	Hz	4237	5536	4021–4617	3372–4219
Проникание теплоты	b	kW ² /(s)/(mK)	16,9	13,3	1,5–2,3	5,0–8,7

Синтегран- новый конструкционный материал, [6].

Для изготовления базовых деталей прецизионных станков, основ измерительных комплексов и другого точного оборудования использовался натуральный гранит. Требования, которые удовлетворялись применением гранита: отсутствие намагничивания, коррозионная стойкость, низкая теплопроводность, высокие демпфирующие свойства.

Разработанный в ОАО "ЭНИМС" литьевой материал – «синтегран», сходен по свойствам натуральному камню, а по технологии применения, значительно его превосходит.

Синтегран это - композиционный материал, состоящий из щебня трех – четырех фракций, мелкодисперсного порошка и связующего – эпоксидного клея. Щебень получают из прочных гранитов или габбро-диабазов. Этот композит относится к классу полимерных бетонов.

Эпоксидной смолы в композите не более 8-10%. И физико-механические характеристики, такие как модуль упругости, теплопроводность, стойкость к истиранию, практически полностью повторяют натуральный гранит.

Если сравнивать с чугунными отливками оснований станков. Такие же станины, выполненные из синтеграна, превосходят в виброустойчивостью, меньшими температурными деформациями. Это позволяет конструкторам рассчитывать на более высокие эксплуатационные характеристики оборудования. Возможно повысить стойкость керамического инструмента.

Технология производства, базовых деталей, следующая:

- мойка и сушка готовых фракций гранитного щебня;
- сушка высокотемпературная;

- подача к смесителю в определённых пропорциях;
- замешивание с эпоксидной смолой до полного смачивания;
- заполнение формы опалубки, с заложенной фурнитурой;
- виброуплотнение, на определённой частоте;
- охлаждение и нагрев через расположенные в отливке трубки, внешним теплоносителем.

Время отверждения, примерно 12 – 13 часов. Далее форма разбирается, заготовка грунтуется, для запечатывания пор.

Экономический эффект производства станин из синтеграна, по сравнению с чугунным литьем. По данным ОАО "ЭНИМС":

- экономия энергии в 2-3 раза;
- расход основных и вспомогательных материалов уменьшается в 1,2 - 1,4 раза;
- высвобождаются производственные площади в 3-4 раза;
- выделения газов уменьшается в 6,5 раз;
- пыли меньше в 10 раз.

Для производства станков шлифовальной группы, на Липецком заводе был создан цех по производству базовых деталей из синтеграна. По данным завода, это принесло значительный экономический эффект.

Владимирский станкостроительный завод

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕГРАНА [7]

Из синтеграна изготавливаются точные фрезерные и круглошлифовальные станки, инструмент, специализированная оснастка, детали для измерений.

Применение синтеграна, позволяет производить станины для расточных, шлифовальных станков, эксплуатирующихся при высокочастотных колебаниях. Синтегран заменил чугун и модифицированный бетон.

Синтегран начал разрабатываться в СССР с 1983г. Были приглашены специалисты из РУДН в экспериментальное НИИ металлорежущих станков.

Была поставлена задача повысить точность выпускаемых деталей. Достичь предъявляемых требований к деталям на существующем оборудовании было невозможно. Применение натурального гранита, для базовых деталей станков было затратно и технологически трудоемко.

Зарубежом в странах Японии, США и Европы для высокоточных агрегатов станков применяют синтегран.

Основные составляющие синтеграна:

- смола и отвердитель. Полимерное связующее напрямую влияет на физико-механические свойства композита;
- мелкодисперсные порошки – минеральные наполнители (размер до 10 мкм);
- щебень габбро-диабазы, размер 6,3 – 20 мм, придают прочность отливке.

По составу синтегран подразделяется на три основных типа, по его применению:

- корпусные детали станков, не подверженных механическому износу. Для этого используют состав синтеграна значительной жёсткости, прочности, но не высокой износостойкости:

- для станин и оснастки, подвергающиеся в дальнейшем механическому износу, необходим синтегран, обладающий термостабильностью и высокой устойчивостью к износу.

- для отливки деталей оснастки и станин для химически агрессивной среды.

Какие свойства синтеграна лучше при сравнении с чугуном:

- лучше гасит вибрации;

- ниже коэффициент теплового расширения;

- остаточные напряжения намного ниже, выше стабильность геометрических размеров;

- выше стойкость к агрессивным средам;

- меньше усадка, выше точность отливки;

- значительно более низкие энергозатраты при высоких показателях производительности;

- лучше поддается автоматизации процесса изготовления.

Применение синтеграна, Владимирским станкостроительным заводом «Техника», позволяет получать высокие характеристики выпускаемых изделий. Более рачительно использовать человеческий труд, производственные площади и экономить энергию.

Duracrete

Преимущества в несущих системах машины [8]

Требуются прочные станины станков, где высокоскоростная обработка сочетается с максимальной точностью. Благодаря своим высоким демпфирующим свойствам полимербетон и натуральный камень являются предпочтительными материалами для высококачественных фрезерных, режущих, токарных и шлифовальных станков. Использование этих материалов повысит жесткость и собственную частоту при одновременном снижении шума и износа инструмента.

Разработка новых высокотехнологичных цементных вяжущих на основе значительно упрощает изготовление деталей машин из самоуплотняющегося цементного бетона, не содержащего растворителей. Duracrete использует связующее NANODUR© от Dyckerhoff GmbH для изготовления машинных оснований из УНРС (сверхвысокопроизводительный бетон).

Производство

Бетон УНРС смешивается из заполнителей, специального цемента и воды, который затем заливается в полые формы на специализированных установках. В зависимости от требований формы изготавливаются из дерева, пластика или стали. Резьбовые втулки, стальные стержни, трубы, воздуховоды, подъемные анкеры, пневматические линии и т.д. встроены в раму машины.

Смесь, не содержащая растворителей, затвердевает в условиях окружающей среды. По истечении одного дня деталь извлекается из формы и покрывается после специальной обработки. Цементный бетон сохраняет стабильность размеров даже при высоких температурах, он также не горит и пригоден для вторичной переработки в виде строительных отходов.

Точность

Прямолинейность, плоскостность и параллельность в 0,1 мм могут быть достигнуты непосредственно вне формы. Точность до 0,005 мм может быть достигнута путем шлифования бетонной поверхности или в качестве альтернативы путем фрезерования и сверления закладных стальных пластин. Литье прецизионных поверхностей с использованием калибров и эпоксидных смол, особенно при изготовлении серийных деталей, является очень экономичным.

УНРС обладает высокой теплоемкостью. Кроме того, он имеет коэффициент теплового расширения, аналогичный коэффициенту стали. Таким образом, уменьшается тепловое коробление станины станка. Отдельные компоненты УНРС могут быть склеены между собой эпоксидными смолами.

Таблица 3 - Данные материала

Characteristic	Nanodur [®] concrete E45	Design value concrete E45	Nanodur [®] concrete E80	Design value concrete E80
Compressive strength f_{cm}	> 125 MPa	$\sigma_{adm} = 40$ MPa	> 150 MPa	$\sigma_{adm} = 40$ MPa
Flexural tensile strength f_{ctm}	15 MPa	$\sigma_{adm} = 5$ MPa	20 MPa	$\sigma_{adm} = 5$ MPa
Centric tensile strength	-	$\sigma_{adm} = 3$ MPa	-	$\sigma_{adm} = 3$ MPa
Static modulus of elasticity E_c	46,500 MPa	45,000 MPa	84,500 MPa	80,000 MPa
Dyn. modulus of elasticity E	55,600 MPa	-	89,600 MPa	
Poisson's ratio μ	0.19 [-]	0.20 [-]	-	0.20 [-]
Density hardened concrete ρ_c	2,480 kg/m ³	2.5 tons/m ³	2,790 kg/m ³	2.8 tons/m ³
Specific thermal capacity c_p	1.2 J/gK	1.2 J/gK	0.85 J/gK	0.85 J/gK
Thermal conductivity λ	3.0 W/mK	3.0 W/mK	6.0 W/mK	6.0 W/mK
Thermal expansion α_T	$12.0 \cdot 10^{-6}$ [1/K]	$12.0 \cdot 10^{-6}$ [1/K]	$7.0 \cdot 10^{-6}$ [1/K]	$7.0 \cdot 10^{-6}$ [1/K]

Таблица 4 - Гашение вибрации

Material	Log. damping decrement Λ	Damping ratio D [%]
Nanodur concrete E45	0.030	0.50
durfi II	0.035	0.56
Cast iron GG	0.003	0.05
Steel S235	0.001	0.02

Подводя итог

Синтегран как современное решение проблем станкостроения

Синтегран как конструкционный материал является прекрасным решением в выборе материала для изготовления станин станков [9]. Поскольку обладает высокими физико-механическими характеристиками превосходящие альтернативный чугун. Замена чугунных изделий на изделия из синтеграна (где это возможно) позволит повысить точность станков, уменьшить трудовые и материальные затраты.

При производстве высокоточного оборудования в таких странах, как Германия, США, Франция, Швейцария, Англия, Япония, целенаправленно используются материалы, аналогичные синтеграну. Такие фирмы как, “Тойда машин тулз”, “Ниппон электрик” (Япония), “Штудер”, “Позалюкс” (Швейцария), “Цинцинати Милакрон”, “Джендис Фликслай”, “Менон” (США), “ЭМАГ”, “Эльб-Шлиф”, “SKF” (Германия) серийно выпускают станки, измерительные комплексы приспособления и оснастку с элементами, выполненными из композиционных материалов.

1.2.1 Конструкторская часть

1.2.1 Выбор фрезы для алюминиевых сплавов. Расчёт режимов резания. Подбор шпинделя

На станке будут обрабатывать алюминиевые сплавы. Подбираем фрезу, критерий - максимальная производительность [10, стр. D252].

Таблица 5 - Данные фрезы

D_c	Код заказа	z_n^3	d_{mn}	l_2	l_{sh}^2	ch_1	α_0	a_p^1
мм			мм	мм	мм	мм		мм
12	R216.32-10025AK38A	2	10	90	71	0.1	12	32

1) массальная длина рабочей части.

2) шаг винтовой канавки.

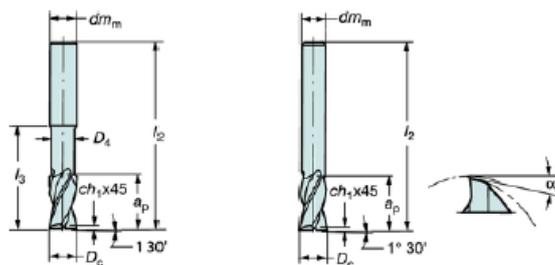
3) общее число зубьев фрезы.

Концевая фреза для черновой и получистовой обработки

С возможностью сверления



Угол подъёма винтовой канавки: -30° , -25°
 Допуски: D_c : h10
 d_{m_m} : h6



Новая геометрия увеличивает возможности фрезы по сверлению.

В приложении Б, рассчитаны режимы резания:

Таблица 6 - Режимы резания

Скорость резания, V_c	1000	м/мин
Скорость вращения фрезы, n	31830	об/мин
Скорость подачи, v_f	1719	м/мин
Усилие резания, F_c	337.5	Н

Подобран шпиндель:

Таблица 7 - Данные по шпинделю

Мотор-шпиндель	ES 351 HSD	HSK E32/E40
Мощность	6.5/7.5	кВт
Скорость вращения	36 000 (E40) 40 000 (E32)	об/мин

1.2.2 Расчёт линейных направляющих

В приложении В рассчитываются и выбираются линейные направляющие для оси Y. По другим осям принимаются такие же типоразмеры линейных направляющих.

Линейная направляющая с кареткой FNS-25 Rexroth Bosch Group:

Таблица 8 - Качественные свойства шариковой каретки

Типоразмер	Шариковая каретка с типоразмером	Класс предварительного натяга	Класс точности	Уплотнение без шариковой цепи
25	R 1651.2	C ₂	P ₂	SS20

Таблица 9 - Механические свойства шариковой каретки

Вес (кг)	Допустимые динамические и статические нагрузки (Н)		Номинальные пробег (м)	Допустимые крутящие моменты (Н•м)			
	C	C ₀		L ₃	M _t	M _{t0}	M _l
0.65	28600	35900	1.4•10 ⁸	410	510	290	360

Жёсткость линейных направляющих 25 типоразмера, с предварительным натягом C₂, по трём направлениям.

Таблица 10 - Жесткость каретки по трём осям

Обозначение	Ед. изм.	Прижимная нагрузка	Отрывающая нагрузка	Боковая нагрузка
F	Н	6000	8000	10000
δ	мкм	12	24	39
c	Н/мкм	500	333	256

1.2.3 Расчёт шарико-винтовой пары

Расчёт для шВП ТНК по оси Y расписан в приложении Г. Выбрана ШВП ВIF2010А-3, фиксированная опора - плавающая опора. По другим осям применяем такие же ШВП.

Таблица 11 - Данные ШВП ВIF2010А-3

Длина	Диаметр	Шаг	Класс точности	Срок службы, L _h	Скорость вращения	Осевая жесткость системы
мм	мм			час	об/мин	Н/мкм
900	20	10	C3	2,4•10 ⁵	1500	33,5

Выбираем серводвигатель Fulling Motor FL80SV75 [11].

Таблица 12 - Характеристики серводвигателя FL80SV75

Наименование характеристики	Значение	Ед. изм.
Номинальная мощность серводвигателя	750	Вт
Число оборотов вала серводвигателя	3000	мин ⁻¹
Номинальный крутящий момент	2.39	Н•м
Пиковый крутящий момент	7.14	Н•м
Момент инерции вала серводвигателя	1.56	кг•см ²

На основании выбранных стандартных комплектующих станка и CAD программы Компас 3D m19 создаём детали и сборку станка.

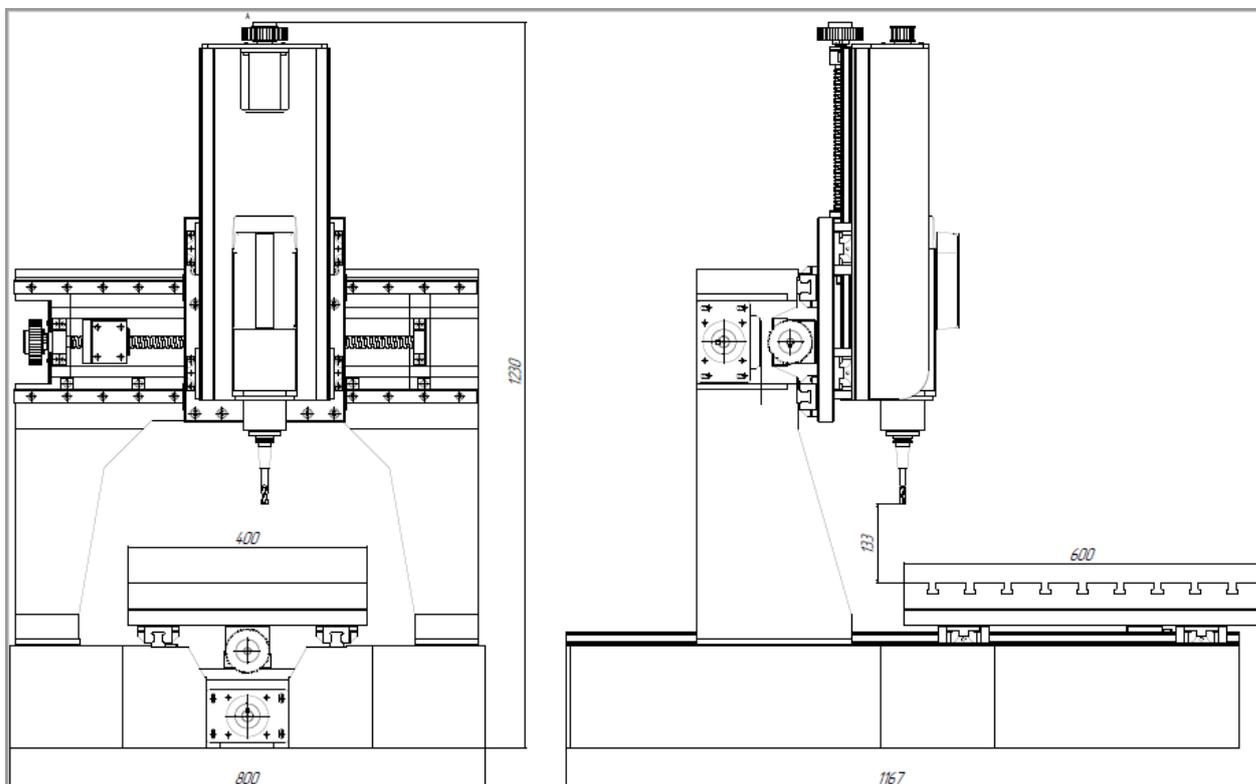


Рисунок 6 - Сборочный чертёж станка портального типа с станиной из синтегран, вид спереди и сбоку

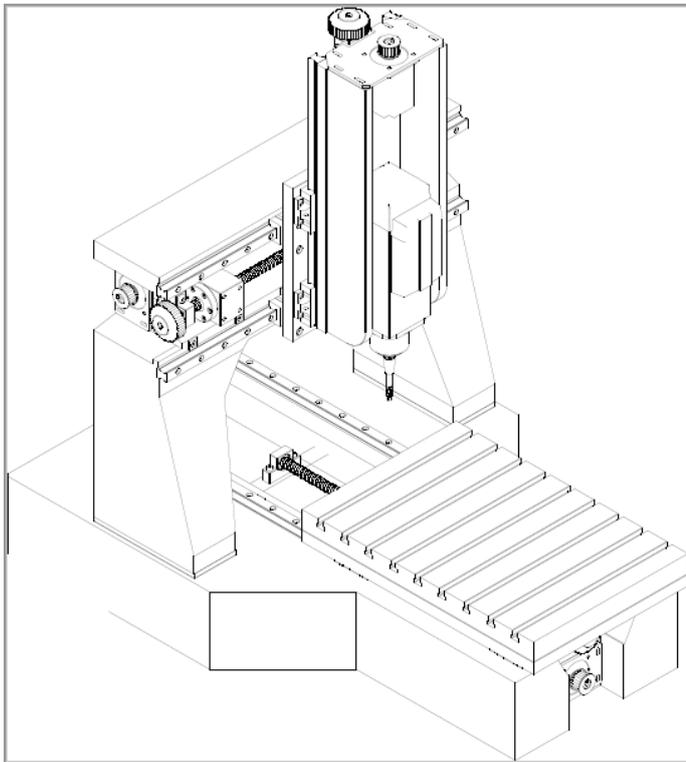


Рисунок 7 - Сборочный чертёж станка портального типа с станиной из синтеграна, в изометрии

1.2.4 Жёсткость станка

При проектировании станка с определенной производительностью и точностью, одним из наиболее важных критериев является эффективная жесткость сопряжения инструмента и заготовки. Это значение описывает величину усилия [N], необходимого для того, чтобы оттолкнуть инструмент от обрабатываемой детали на единицу длины [мкм]. Как правило, значения от 10 до 25 Н/мкм считаются достаточными для станков.

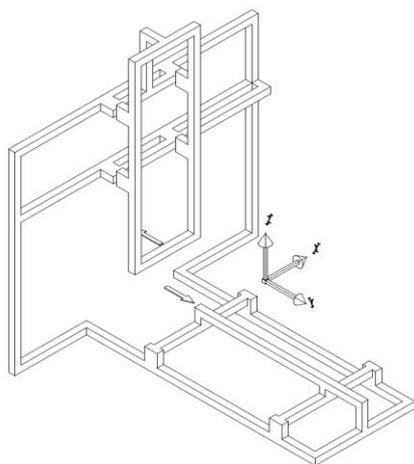


Рисунок 8 - Структурная схема станка портального типа из балок.

Составляем структурную схему жесткости нашего станка. Элементы структурной петли представляем в виде пружин, рисунок 2.2.

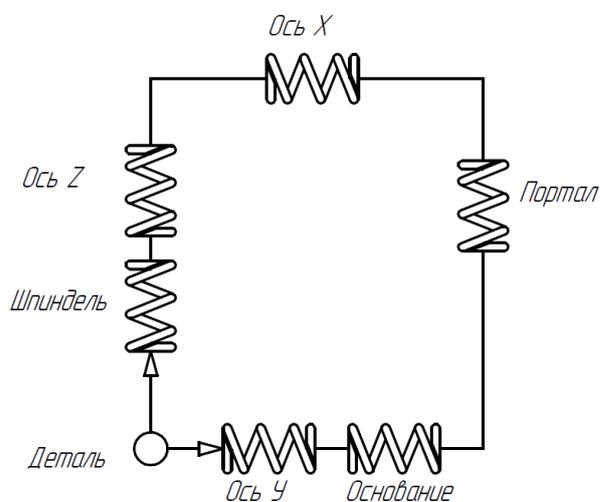


Рисунок 9 - Структурная петля жёсткости станка

Общая жесткость *последовательного* набора пружин может быть рассчитана по формуле:

$$K_{\text{посл}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \right)^{-1} \quad (2.1)$$

При *параллельном* расположении пружин формула для расчёта:

$$K_{\text{парал}} = \sum_{i=1}^n k_i \quad (2.2)$$

где k_i обозначает жесткость каждого отдельного узла.

Жесткость элементов станка анизотропна, зависит от направления нагрузки. Чтобы учесть эту неравномерность, уравнение 2.1 применяется независимо во всех основных направлениях, определяемых осями станка.

Таблица 13 - Жёсткость компонентов станка

		Жесткость от направления силы, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}}$;		
Компоненты	Обозначение	Прижимающая	Отрывающая	Боковая
Линейные подшипники	FNS_25	500	333	256
		Осевая жёсткость системы, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}}$;		
ШВП	BIF2010A-3	33,5		
	BIF2005A-3	33,5		
		Жесткость от направления силы, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}}$;		
		Боковая*	Осевая*	
Мотор-шпиндель	ES 351HSD	288,8	136,8	

* Жёсткость мотор-шпинделя не представлена в технических характеристиках производителя. Возьмём характеристики подшипников фирмы NTN 7008 UADG/GN P42 [12]

Таблица 14 - Суммарная жёсткость станка по трём осям

Компоненты	Детали	C_x , [Н/мкм]	C_y , [Н/мкм]	C_z , [Н/мкм]
Шпиндель		288,8	288,8	136,8
Ось_X	4xFNS25, ШВП BIF2010A-3	33,5	4x333=1332	4x256=1024
Ось_Y	4xFNS25, ШВП BIF2010A-3	4x256=1024	33,5	4x500=2000
Ось_Z	4xFNS25, ШВП BIF2005A-3	4x256=1024	4x333=1332	33,5
Общая жёсткость		28,35	28,7	25,8

Рассчитаем деформацию системы δ_i , при силе резания F , приложенной к инструменту и такой же реакции на деталь, будут деформироваться в противоположных направлениях.

$$\delta = \frac{F}{C}$$

Таблица 15 - Деформация станка по трём осям

Направление приложения усилия	Величина, C [Н/мкм]	Нагрузка, F [Н]	Деформация, δ [мкм]
X	28,5	340	12
Y	28,9	340	12
Z	28,4	120	4

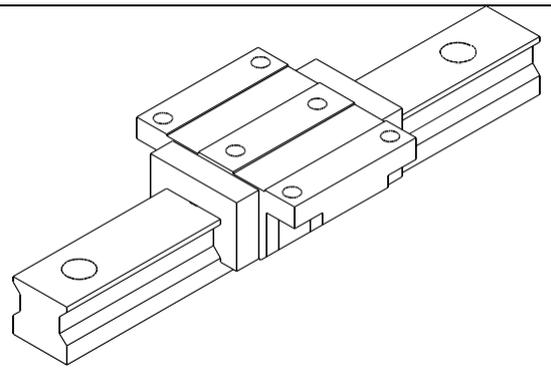
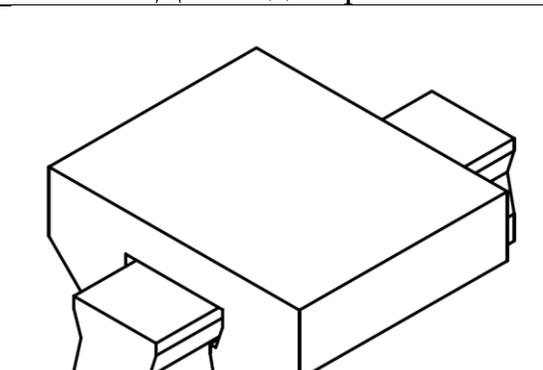
Целевое значение при проектировании станка $\delta=10$ мкм. По данным из таблицы, мы не укладываемся. При чистовых операциях фрезерования, усилия резания меньше - точность будет выше.

1.3 Моделирование

1.3.1 Линейных подшипников

В CAD системе Компас 3D была создана модель подшипникового узла FNS25. Сохранена в формате Parasolid Binary(*.x_b), для исследования в программе Ansys 2021R1.

Таблица 17 - Линейный подшипник реальный и упрощенный

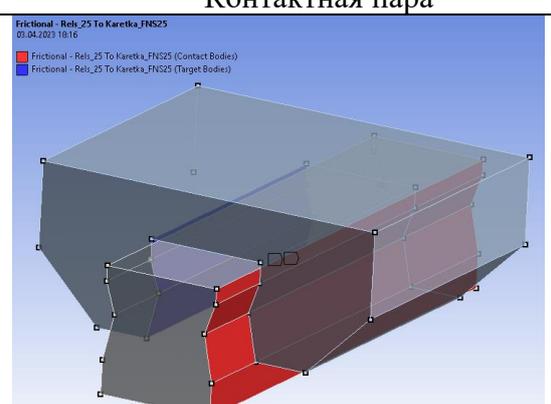
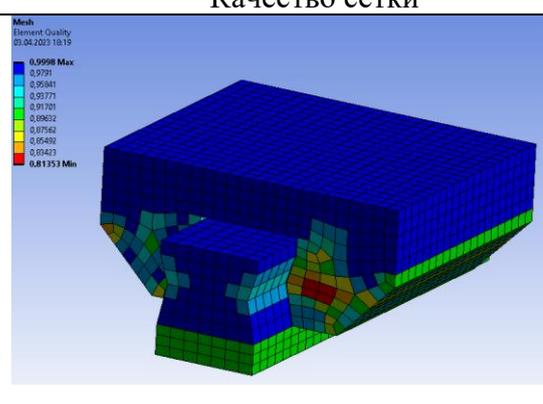
Рельс и каретка FNS_25 реальная	Рельс и каретка FNS_25 упрощенная
Из каталога	Для моделирования
	

Настройка контакта:

Таблица 18. Настройка контакта линейного подшипника - Friction

Contact bodies	Target contact	Type	Behavior	Friction coefficient	Stabilization damping factor
Rels_25	Karetka_25	Friction	Assymetric	5,e-003	2,e-02

Таблица 19 - Вид контактной пары и сетки модели линейного подшипника.

Контактная пара	Качество сетки
	

1. Моделирование рельсовой направляющей

Для подгонки результатов рельс из материала Structural steel, а каретка из Structural steel_FNS_25 фиктивного материала с изменённым модулем упругости. Для подгонки результата деформации. $E = 1.8 \cdot 10^{12}$ Па.

Таблица 20 - Виды нагружения и полученные формы модели линейного подшипника

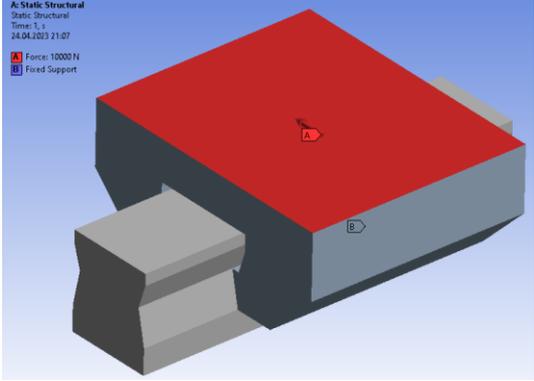
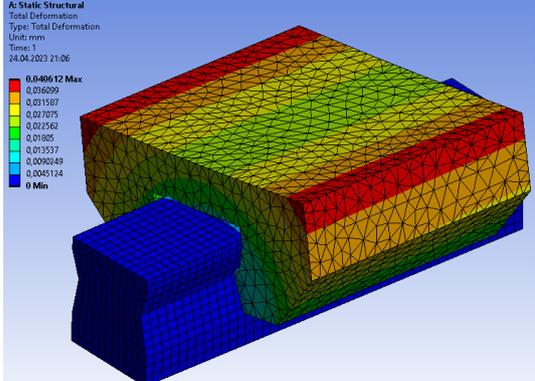
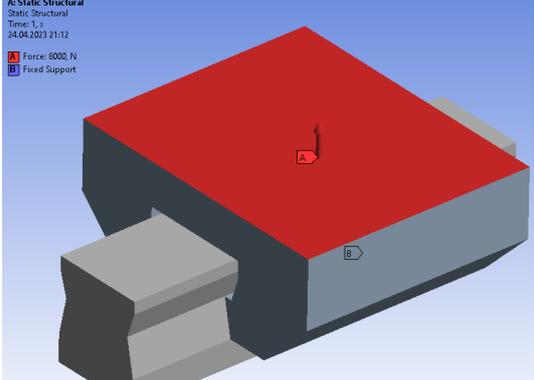
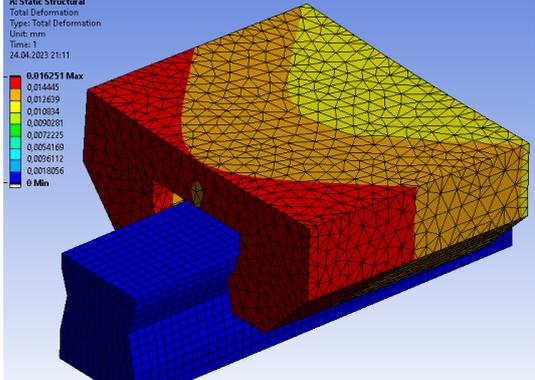
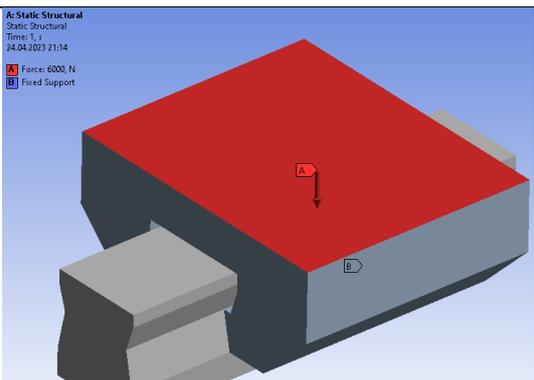
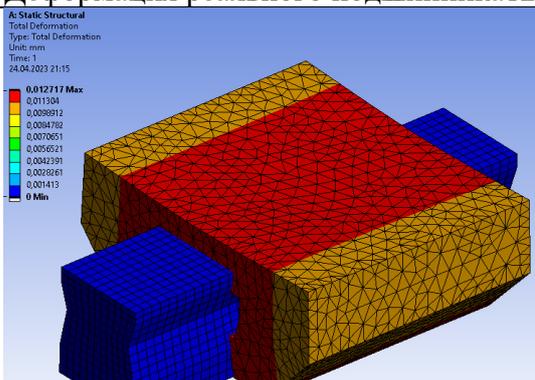
<p>Боковая нагрузка 10 000 Н</p> 	<p>Деформация модели 40,6 мкм Деформация реального подшипника 39 мкм</p> 
<p>Отрывающая нагрузка 8 000 Н</p> 	<p>Деформация модели 16,2 мкм Деформация реального подшипника 24 мкм</p> 
<p>Прижимающая нагрузка 6 000 Н</p> 	<p>Деформация модели 12,7 мкм Деформация реального подшипника 12 мкм</p> 

Таблица 21 - Жёсткость линейных направляющих FNS25, с предварительным натягом C_2 , по трём направлениям. Из приложения В.

Обозначение	Ед. изм.	Прижимная нагрузка	Отрывающая нагрузка	Боковая нагрузка
F	H	6000	8000	10000
δ	мкм	12	24	39
c	H/мкм	500	333	256

Таблица 22 - Деформация смоделированных линейных направляющих FNS25

Обозначение	Ед. изм.	Прижимная нагрузка	Отрывающая нагрузка	Боковая нагрузка
F	H	6000	8000	10000
δ	мкм	12,7	16,2	40,6

Отрывающее перемещение модели меньше на 32,5% деформации реального подшипника.

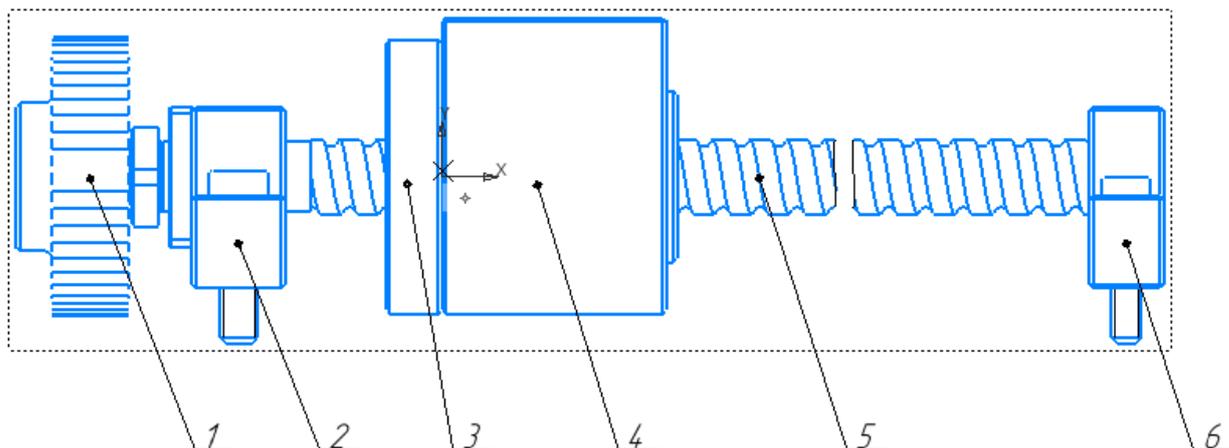
1.3.2 Шарико-винтовой передачи

Расчёт для ШВП ТНК приведёт в приложении В. Выбрана ШВП ВIF2010А-3, фиксированная опора - плавающая опора.

Таблица 23 - Таблица данных ШВП на станке

Ось	Длина	Диаметр	Шаг	Класс точности	Срок службы, L_h	Скорость вращения	Осевая жесткость системы
	мм	мм	мм		час	об/мин	H/мкм
Y	900	20	10	C3	$2,4 \cdot 10^5$	1500	33,5
X		20	10	C3	$2,4 \cdot 10^5$	1500	33,5
Z		20	5	C3	$2,4 \cdot 10^5$	1500	33,5

Таблица 24 - Сборочный чертёж ШВП ВIF2010А-3



№	Наименование деталей
1	Шкив зубчатый
2	Фиксированная опора
3	Гайка
4	Корпус гайки
5	Винт
6	Плавающая опора

Таблица 25 - Моделирование ШВП по оси Y

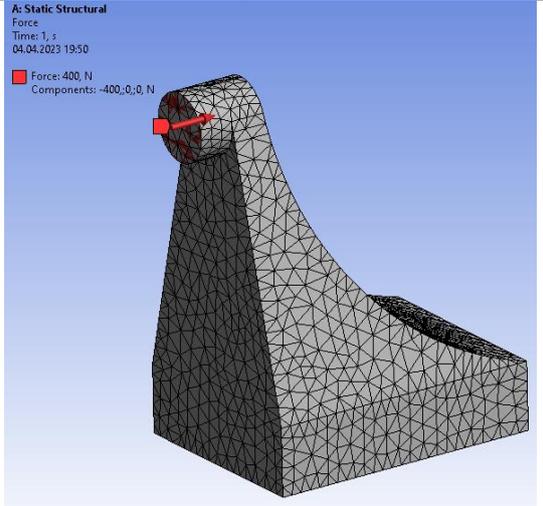
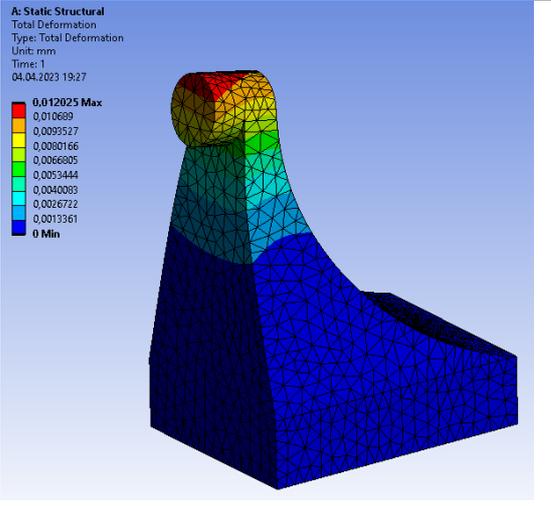
Ось Y	Деформация модели ШВП 12 мкм
Нагрузка 400 Н	Деформация реальной ШВП 12 мкм
 <p>A: Static Structural Force Time: 1, s 04.04.2023 19:50 Force: 400, N Components: -400,0,0, N</p>	 <p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Units: mm Time: 1 04.04.2023 19:27 0,012025 Max 0,010689 0,0093527 0,0080166 0,0066805 0,0053444 0,0040083 0,0026722 0,0013361 0 Min</p>

Таблица 26 - Моделирование ШВП по оси X

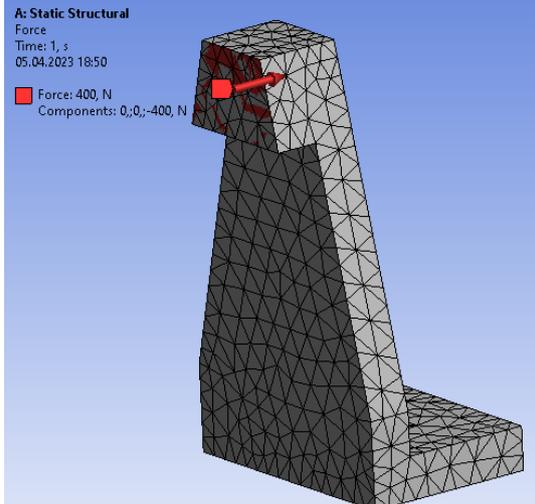
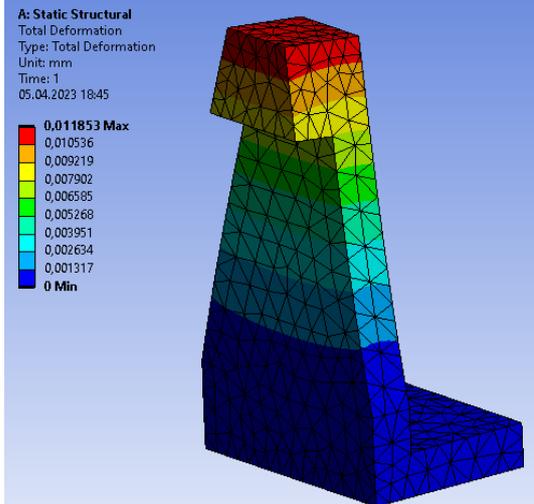
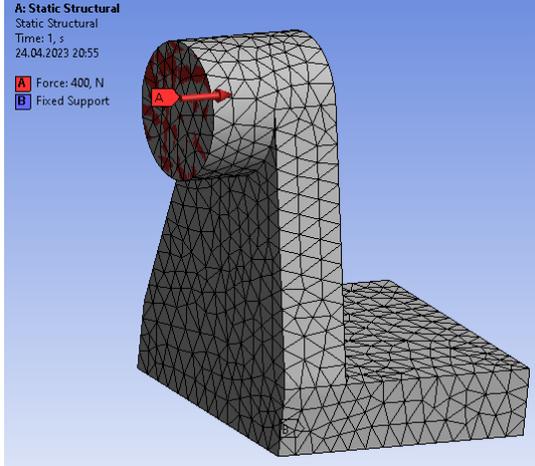
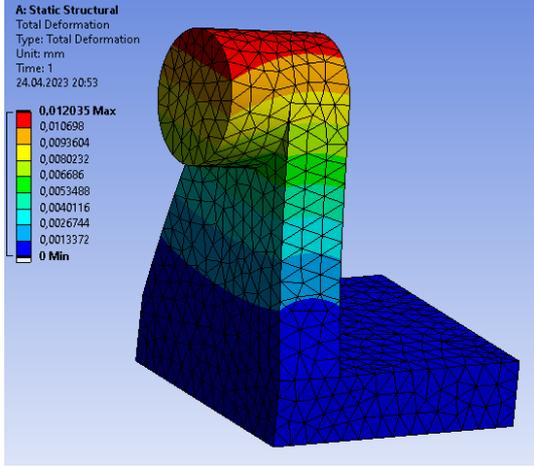
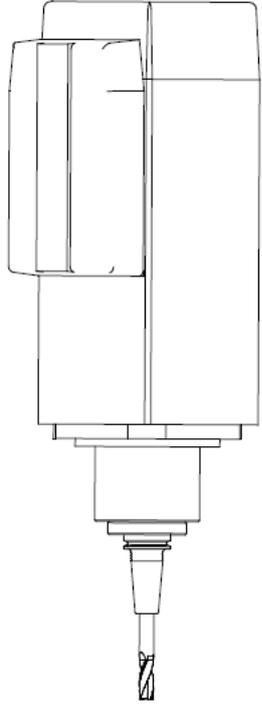
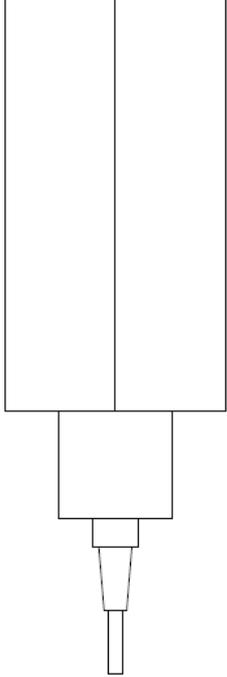
Ось X	Деформация модели ШВП 11,8 мкм
Нагрузка 400 Н	Деформация реальной ШВП 12 мкм
<p>A: Static Structural Force Time: 1, s 05.04.2023 18:50</p> <p>Force: 400, N Components: 0,,0,-400, N</p> 	<p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 05.04.2023 18:45</p> <p>0,011853 Max 0,010536 0,009219 0,007902 0,006585 0,005268 0,003951 0,002634 0,001317 0 Min</p> 

Таблица 27 - Моделирование ШВП по оси Y

Ось Z	Деформация модели ШВП 12 мкм
Нагрузка 400 Н	Деформация реальной ШВП 12 мкм
<p>A: Static Structural Static Structural Time: 1, s 24.04.2023 20:55</p> <p>Force: 400, N Fixed Support</p> 	<p>A: Static Structural Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 24.04.2023 20:53</p> <p>0,012035 Max 0,010698 0,0093604 0,0080232 0,006686 0,0053488 0,0040116 0,0026744 0,0013372 0 Min</p> 

1.3.3 Шпиндель

Таблица 28 - Сравнение внешней формы шпинделя и его модели

Шпиндель ES351 HSD Масса 20 кг	Модель Шпинделя ES351 HSD Масса 20,4 кг
	

Жесткость шпинделя, в каталогах производителя отсутствует. Присвоим шпинделю радиальную жесткость дуплексных подшипников [12].

Радиальная жёсткость дуплексных подшипников 7008 UADG/GNP42 - 288,8 Н*мкм.

Формула деформации от усилия резания:

$$\delta = \frac{F}{c}$$

где, $F = 340$ Н - усилие резания.

$c = 288,8$ Н/мкм - жесткость дуплексного подшипника.

$\delta = 1,2$ мкм – деформация торца вала шпинделя.

Таблица 29 - Моделирование шпинделя на деформацию



1.3.4 Упрощение сборки станка

Первым делом упрощаем сборку. Исключаем навесные элементы – серводвигатели, шкивы. Убираем отверстия, фаски, галтели. Заменяем ШВП линейные подшипники, шпиндель на эквиваленты. Тиски с заготовкой – на «кирпич» - заготовку.

Таблица 30 - Сравнение внешней формы станка ЧПУ и его модели

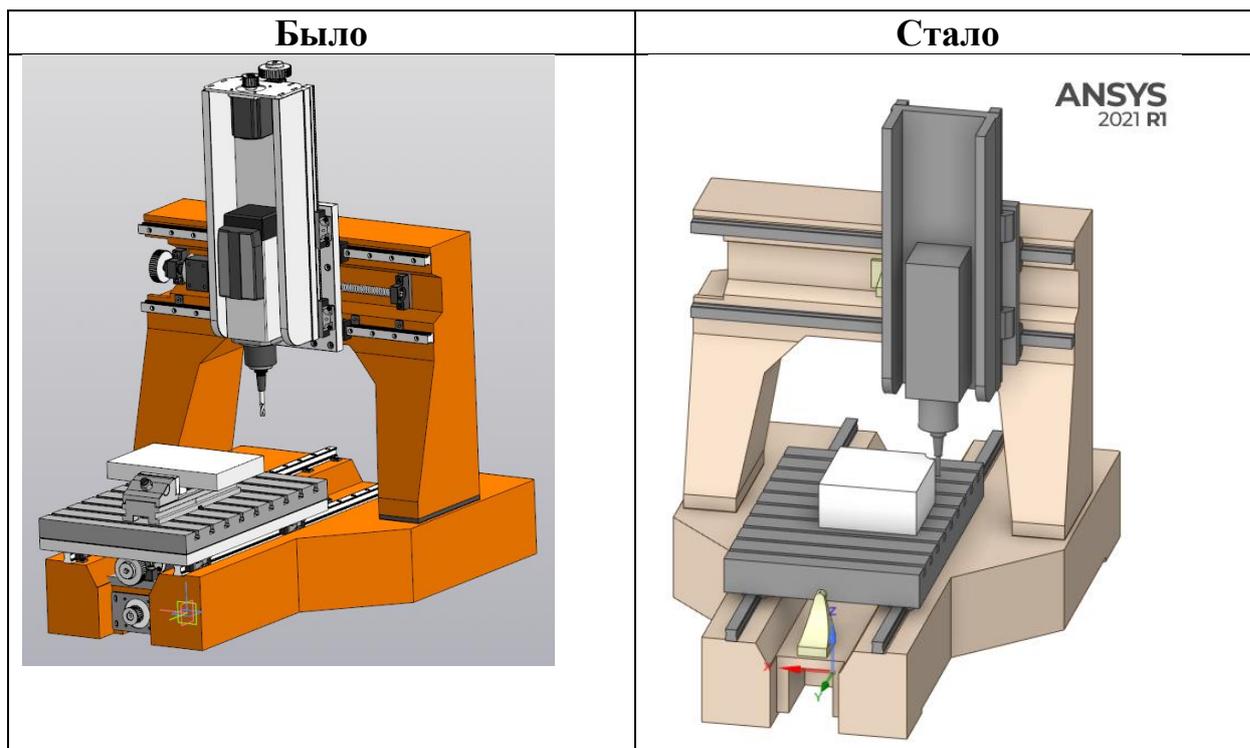


Таблица деталей станка с эквивалентным модулем Юнга, для записи которого создаем новые материалы (дублируем Structural Steel и переименовываем).

Таблица 31 - Эквивалентный модуль Юнга компонентов станка, Па

Наименование	Обозначение	Эквивалентный модуль Юнга, Па
Линейные подшипники	Каретка FNS25	$8 \cdot 10^{12}$
Шпиндель	ES 351 HSD-	$1.0 \cdot 10^{12}$
ШВП	ViF2010A_X	$1,8 \cdot 10^8$
	ViF2010A_Y	$1,4 \cdot 10^{11}$
	ViF2005A_Z	$1,4 \cdot 10^{11}$

Материал станины станка – синтегран. В базе данных Engineering Date отсутствует. Создаем новую запись, данные материала Granitan, швейцарской компании Studer [5].

Таблица 32 - Свойства материала станины Granitan S103

Property	Unit	Granitan
Damping	%	0.3
Thermal conductivity	[W/m·K]	3.4
Specific heat capacity	[kJ/kg·K]	0.8
Thermal expansion coefficient	[$\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$]	15
Density	[g/cm ³]	2.36
Elastic modulus	[kN/mm ²]	41
Tensile strength	[N/mm ²]	13.2
Compression strength	[N/mm ²]	105
Poisso ratio		0.25

Вид контактов модели станка bonded, между оправкой фрезы и заготовкой по осям X и Y, накладываем контакты в виде пружин жесткостью 5000 Н/мкм. Линейные подшипники контакты -frictional.

Таблица 33 - Настройка контакта линейных подшипников

Type	Friction coefficient	Stabilization damping factor	Behavior	Formulation	Trim tolerance
					мм
Frictional	0,005	0,03	Asymmetric	Augmented Lagrange	0,4

1.3.5 Деформации возникающие от силы тяжести

Нагрузка силой тяжести, разгрузка ШВП по оси Z силой 600 Н и реакцией этой силы на ось X, -600 Н.

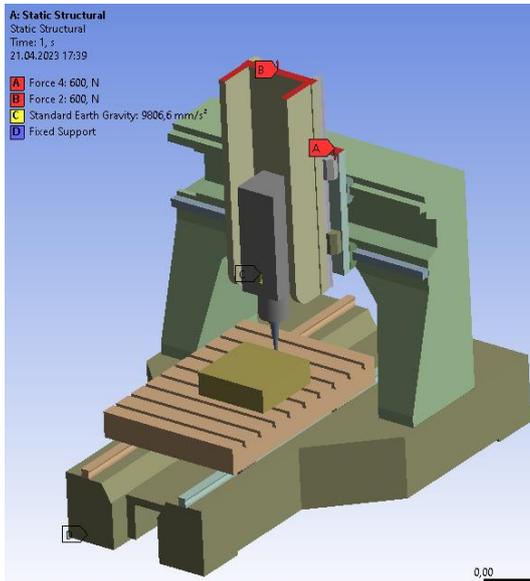
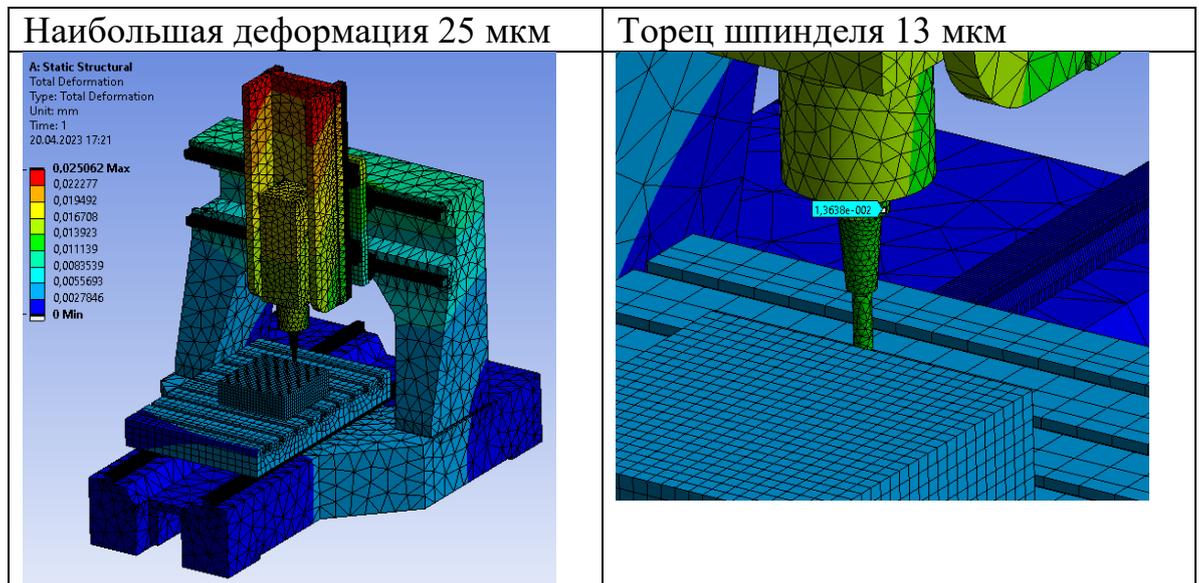


Рисунок 10 - Сила гравитации и разгрузка оси Z

Полученные деформации:

Таблица 33 - Деформация станка от сил гравитации и разгрузки оси Z



1.3.6 Деформации от статической нагрузки вдоль осей X и Y

Фиксируем модель станка, за выступы подошвы основания. Прикладываем силы:

- Сила тяжести;
- Разгрузка оси Z, 600 Н и реакция 600 Н на ось X;
- Сила резания вдоль осей X и Y по очереди, привязываем к оправке фрезы, -340 Н. Сила реакции резания к заготовке, 340 Н.

Моделируем в Static Structural

По оси X

Прикладываем к торцу оправки инструмента шпинделя силу резания вдоль оси X – 340 Н и к заготовке 340 Н. Инструмент и заготовка отталкиваются друг от друга. Накладываем разгрузку на ось Z силой 600 Н и реакция опоры на ось X -600 Н. Так же оставляем силу гравитации.

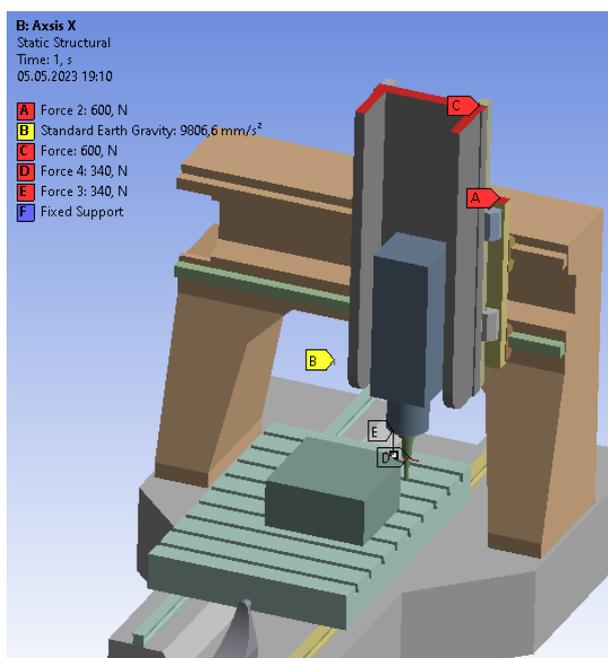
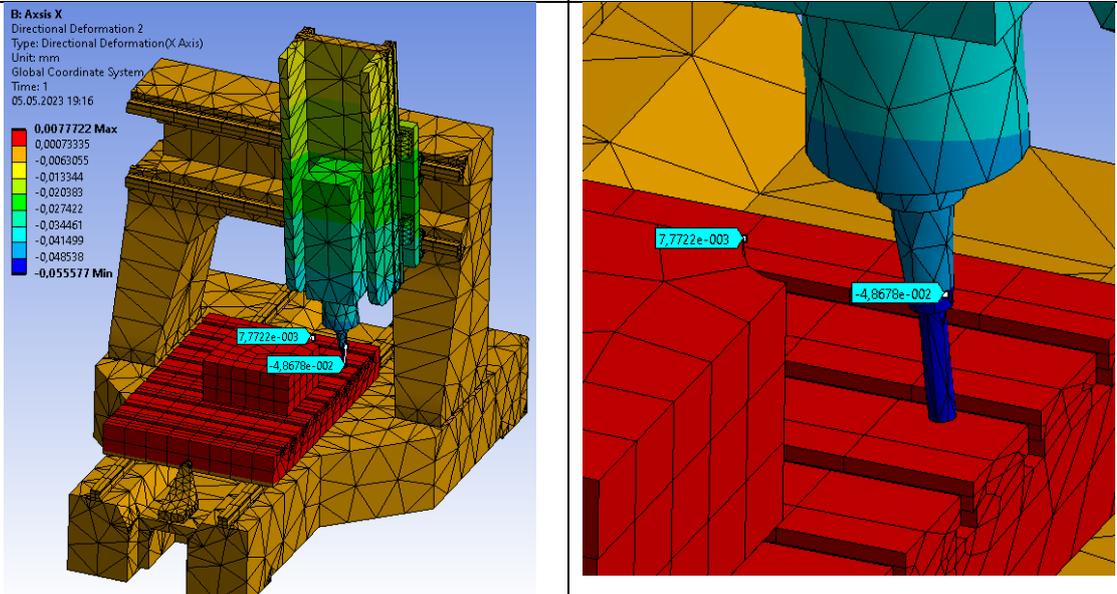


Рисунок 11 - Нагружаем силой резания по оси X

Таблица 34 - Деформация от усилия резания по оси X

<p>Максимальная деформация складывается из деформаций из нулевого значения в противоположные стороны: $7,8+55,5 = 63,2$ мкм</p>	<p>Деформация оправки инструмента -49 мкм</p>
	<p>Деформация заготовка-стол-ШВП 7,8 мкм</p>
	<p>Суммарное отклонение 56.8 мкм</p>
	<p>Жёсткость 6 Н/мкм</p>
	

По оси Y

Прикладываем к торцу оправки инструмента шпинделя силу резания вдоль оси Y – 340 Н и к заготовке 340 Н. Инструмент и заготовка отталкиваются друг от друга. Накладываем разгрузку на ось Z силой 600 Н и реакция опоры на ось X -600 Н. Так же оставляем силу гравитации.

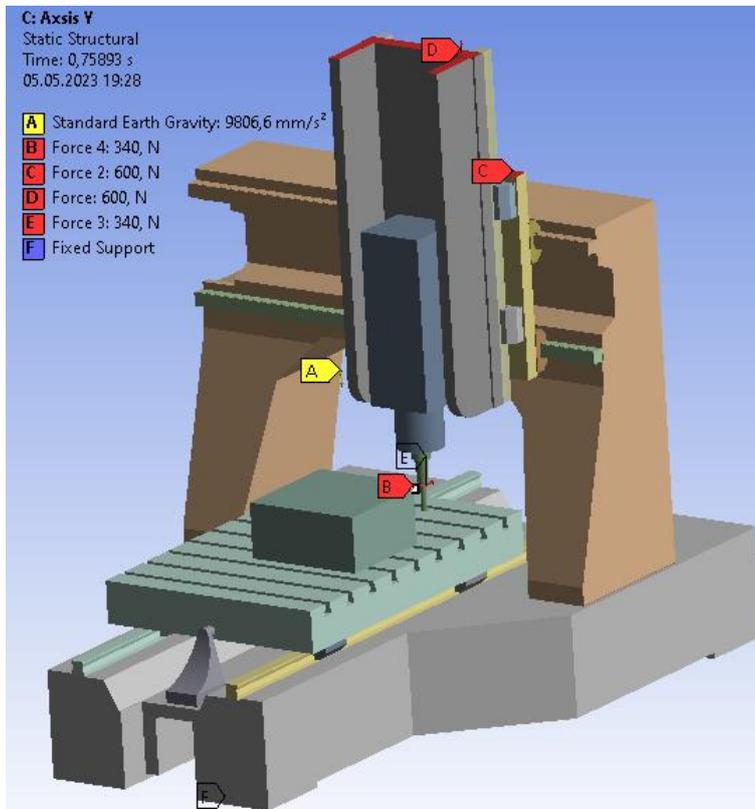


Рисунок 12 - Нагружаем силой резания по оси Y

Таблица 35 - Деформация от усилия резания по оси Y

<p>Максимальная деформация складывается из деформаций из нулевого значения в противоположные стороны: 56+51 = 110 мкм</p>	<p>Деформация оправки инструмента -42 мкм</p>
	<p>Деформация заготовка-стол-ШВП 9,6 мкм</p>
	<p>Суммарное отклонение 51,6 мкм</p>
	<p>Жёсткость 6,6 Н/мкм</p>

1.3.7 Подбор силы резания для попадания в допуск 0.01 мм.

При силе резания F 340 Н, максимальная осевая деформация по оси X - 56,8 мкм.

В Static Structural mechanical, подставляем, различные, силы резания, моделируем и результаты заносим в таблицу 36.

Таблица 36 – Подбор силы резания по оси X , для попадания в допуск 0,01 мм

Сила резания F , Н	Деформация от положения равновесия, мкм		Размах деформации, мкм
	Заготовка	Оправка инструмента	
100	1,2	-13,6	14,8
80	0,9	-10,7	11,6
77	0,85	-10,3	11,15
75	0,82	-10	10,82
70	0,74	-9,3	10,1

Для попадания в допуск, необходимо использовать инструмент для чистовой обработки и не допускать превышения силы резания в 70Н.

Запишем в таблицу данные при черновом и чистовом методах обработки, таблица 37

Таблица 37 – Деформация при черновой и чистовой обработках

Сила резания F , Н	Деформация от положения равновесия, мкм		Размах деформаций, мкм	Жёсткость, Н/мкм
	Заготовка	Оправка инструмента		
340	7,8	-49	56,8	6
70	0,74	-9,3	10,1	7

1.4 Модальный анализ

Модальный анализ проводится для определения частот и форм(мод) собственных колебаний станка. Условием для анализа является линейность системы. Все виды нелинейности – нелинейное поведение материала, контактные граничные условия, конечные перемещения – игнорируются. Контакты остаются открытыми или закрытыми в зависимости от начальных определений. Внешние силы и демпфирование равно нулю.

Матричное линейное уравнение свободных колебаний:

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = \{0\} \quad (1)$$

где, $[M]$ матрица масс;

$[K]$ матрица жесткости;

$\{u\} = \{\varphi_i\} \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \Theta_i)$ - перемещение;

$\{\ddot{u}\} = -\omega_i^2 \cdot \{\varphi_i\} \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \Theta_i)$ – ускорение по гармоническому закону;

подставляем в уравнение (1)

$$([K] - \omega_i^2 \cdot [M]) \cdot \{\varphi_i\} = \{0\} \quad (2)$$

где, $([K] - \omega_i^2 \cdot [M])$ – собственные частоты;

$\{\varphi_i\}$ – амплитуда колебаний;

Это решение выполняется если $\{\varphi_i\} = 0$ или определитель матрицы $([K] - \omega_i^2 \cdot [M]) = 0$. Нас интересует второй вариант. Он приводит к обобщённой проблеме собственных значений.

Решением обобщённой проблемы собственных значений является n пар собственных частот ω_i^2 и собственных векторов $\{\varphi_i\}$, где n порядок системы, т.е. общее число степеней свободы станка.

Помимо круговой частоты ω_i вводится частота f_i :

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}; \quad (3)$$

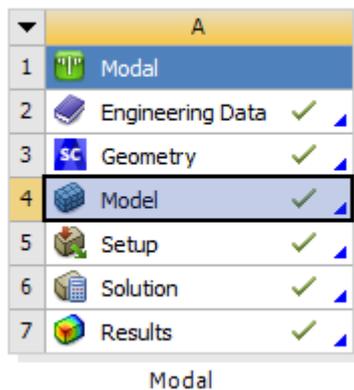
Собственные формы определяются до постоянного множителя, поэтому их нормируют. В большинстве случаев проводят нормирование по отношению к матрице масс. Собственные формы М-ортогональны к матрице масс.

$$\{\varphi\}_i^T \cdot [M] \cdot \{\varphi\}_j = \delta_{ij}; \quad (4)$$

Из уравнений (2) и (4) следует условие ортогональности по отношению к матрице жёсткости К (К-ортогональность).

$$\{\varphi\}_i^T \cdot [K] \cdot \{\varphi\}_j = \omega_i^2 \cdot \delta_{ij}; \quad (5)$$

Бокс Modal:



В настройках модели присваиваем деталям сборки материал. Указываем контактные соединения как в статическом анализе.

Для анализа будем использовать метод суперпозиции мод (МСМ), он более быстрый и в конструкции незначительное демпфирование.

Модель станка фиксируем за четыре выступа в подошве основания, гасим все наложенные силы.

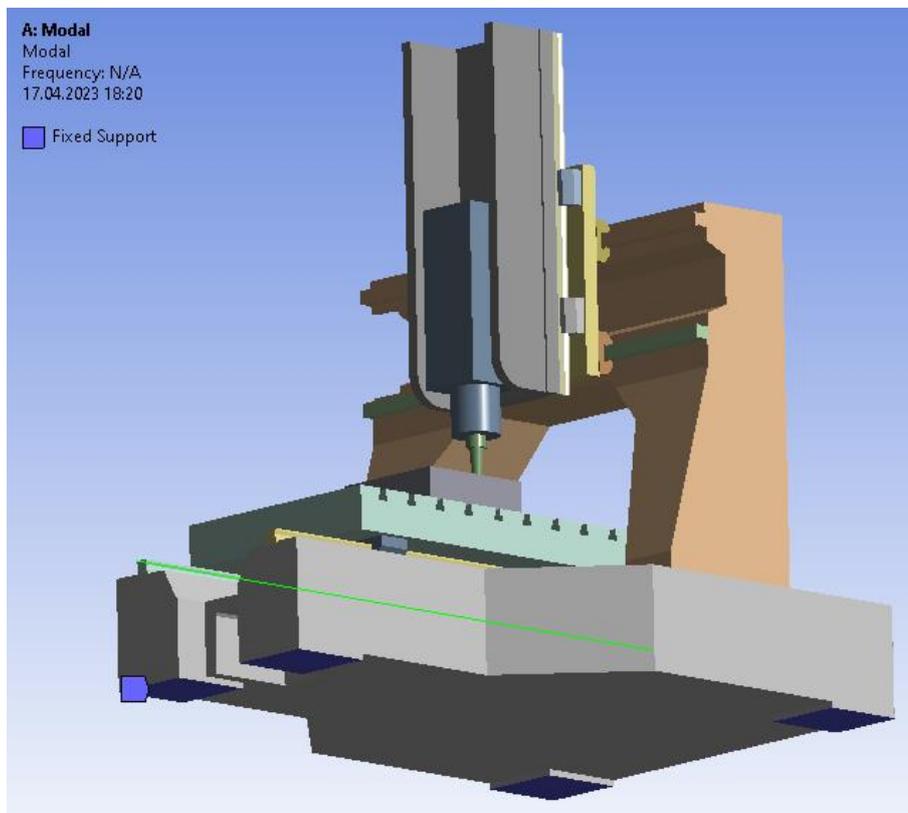


Рисунок 13 - Закрепление станка для модального анализа

Полученные моды собственных частот колебаний.

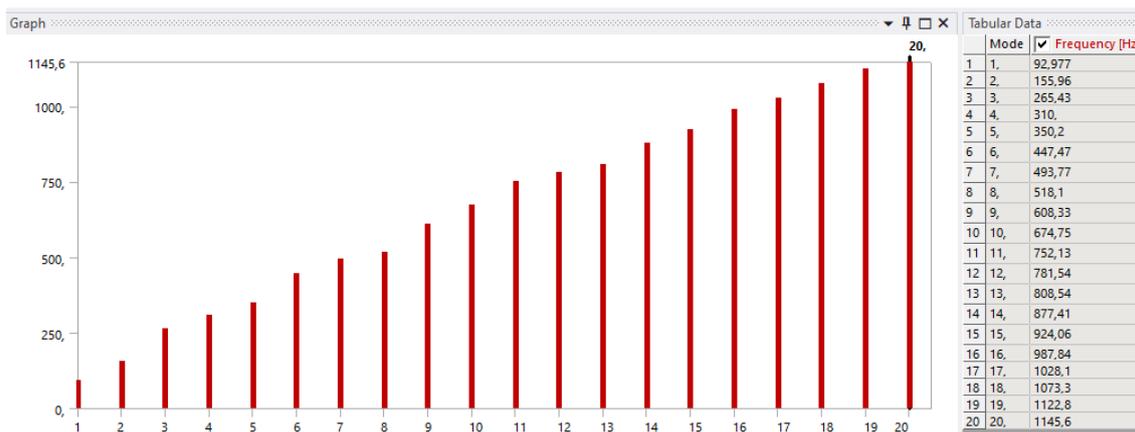


Рисунок 14 - График частот и таблица значений. Количество мод 20

Открываем информацию о решении (solution information).

- Коэффициент участия конструкции показывает наиболее заметные моды в определённом направлении.

-Эффективная масса — показывает достаточное количество

извлечённых мод для дальнейшего исследования:

- Гармонического отклика.
- Анализ спектра отклика.
- Спектра переходных процессов.
- Случайной вибрации.

В таблице эффективная масса (effective mass), по осям, в строке, выделенной жёлтым цветом, указано количество вовлечённой массы модели станка в исследование. Значения близки к 0.6, значит мы извлекли не достаточное количество мод или фиксация основания не даёт перемещения значительных масс станка.

Таблица 38 - Эффективная масса, распределённая по модам

Effective Mass				
Mode	Frequency [Hz]	X Direction [tonne]	Y Direction [tonne]	Z Direction [tonne]
1	92,977	5,7169e-005	0,13858	3,0674e-002
2	155,96	0,23816	4,9793e-004	5,6013e-005
3	265,43	1,116e-002	3,2857e-002	9,0179e-003
4	310,	2,7799e-003	2,8803e-002	0,11041
5	350,2	2,3029e-004	9,4257e-009	0,3427
6	447,47	2,4952e-003	1,2087e-003	4,6142e-004
7	493,77	0,22104	4,052e-003	1,2492e-003
8	518,1	1,5937e-002	0,14411	3,2012e-003
9	608,33	9,6591e-003	0,12542	2,5405e-002
10	674,75	5,2796e-002	2,6267e-003	3,7849e-003
11	752,13	2,743e-005	1,6868e-003	1,7462e-004
12	781,54	6,3366e-003	1,7208e-002	6,5964e-003
13	808,54	4,388e-003	3,6246e-003	1,2303e-004
14	877,41	5,419e-004	5,0378e-005	3,3023e-003
15	924,06	5,7882e-004	1,0235e-003	2,5778e-003
16	987,84	2,0221e-003	4,5432e-003	2,3621e-003
17	1028,1	5,5181e-005	2,9353e-002	9,3311e-004
18	1073,3	1,1336e-002	2,0184e-004	5,5437e-004
19	1122,8	1,0997e-004	4,7379e-003	2,4672e-002
20	1145,6	9,4218e-005	4,0629e-005	1,4161e-003
Sum		0,5798	0,54063	0,56967

В таблице фактор участия (participation factor), выявляем частоты по осям, на которые приходится наибольший перенос массы и в этих направлениях можно получить заметное резонансное возбуждение.

Таблица 39 - Фактор участия, распределённый по модам

Participation Factor				
Mode	Frequency [Hz]	X Direction	Y Direction	Z Direction
1	92,977	7,561e-003	0,37227	-0,17514
2	155,96	0,48801	-2,2314e-002	7,4842e-003
3	265,43	0,10564	0,18126	9,4962e-002
4	310,	-5,2725e-002	0,16972	0,33228
5	350,2	1,5175e-002	-9,7086e-005	0,5854
6	447,47	-4,9952e-002	3,4766e-002	2,1481e-002
7	493,77	0,47015	-6,3655e-002	-3,5344e-002
8	518,1	-0,12624	-0,37962	-5,6579e-002
9	608,33	-9,8281e-002	0,35415	-0,15939
10	674,75	-0,22977	-5,1252e-002	6,1522e-002
11	752,13	5,2374e-003	-4,107e-002	-1,3214e-002
12	781,54	7,9603e-002	0,13118	8,1218e-002
13	808,54	-6,6242e-002	6,0205e-002	1,1092e-002
14	877,41	2,3279e-002	-7,0978e-003	5,7466e-002
15	924,06	-2,4059e-002	-3,1993e-002	-5,0772e-002
16	987,84	4,4968e-002	-6,7403e-002	-4,8601e-002
17	1028,1	7,4284e-003	0,17133	3,0547e-002
18	1073,3	-0,10647	1,4207e-002	2,3545e-002
19	1122,8	-1,0487e-002	-6,8832e-002	-0,15707
20	1145,6	9,7066e-003	-6,3741e-003	3,7631e-002

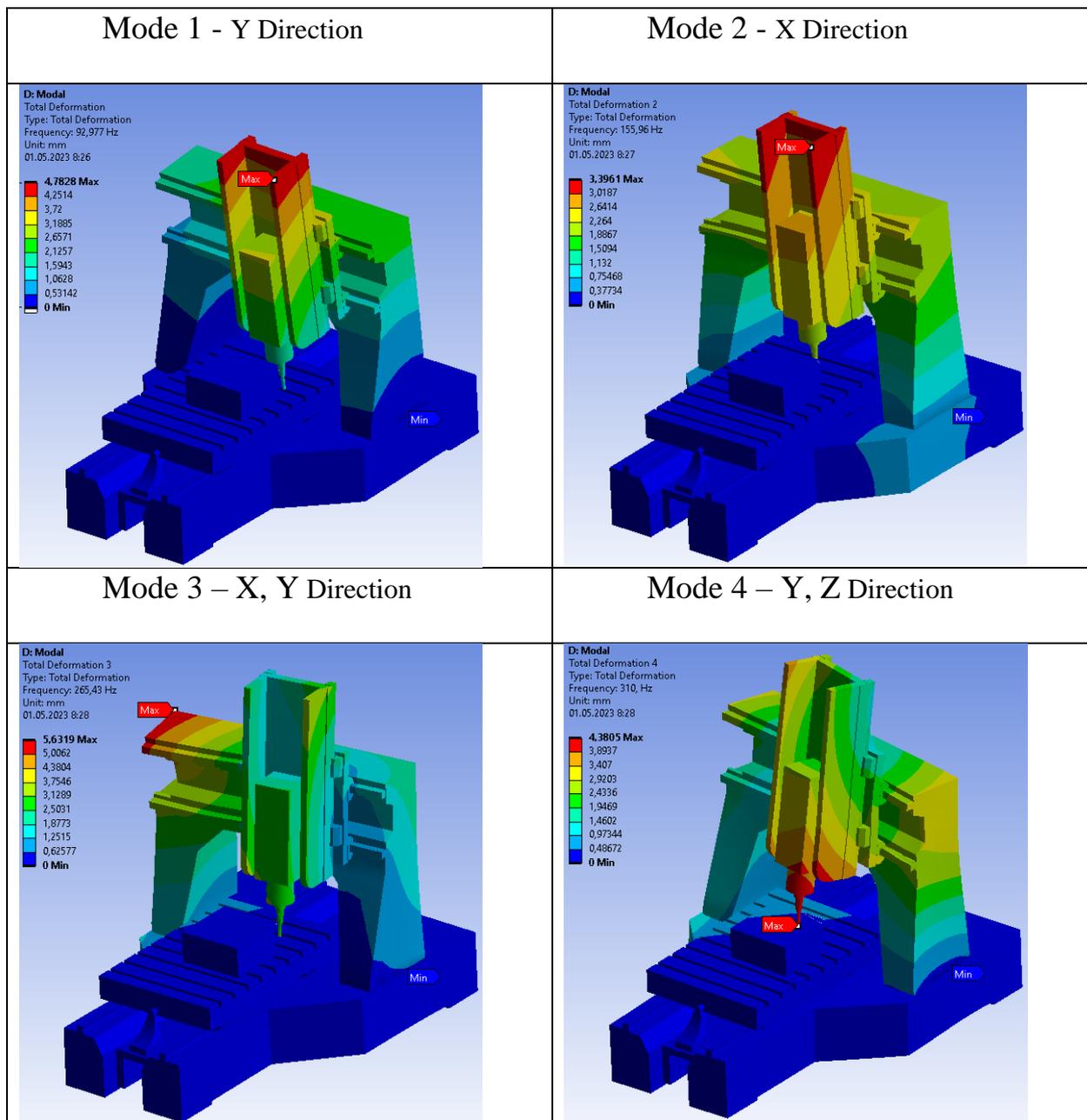
Выпишем эти частоты, они нам, возможно, пригодятся для дальнейшего анализа:

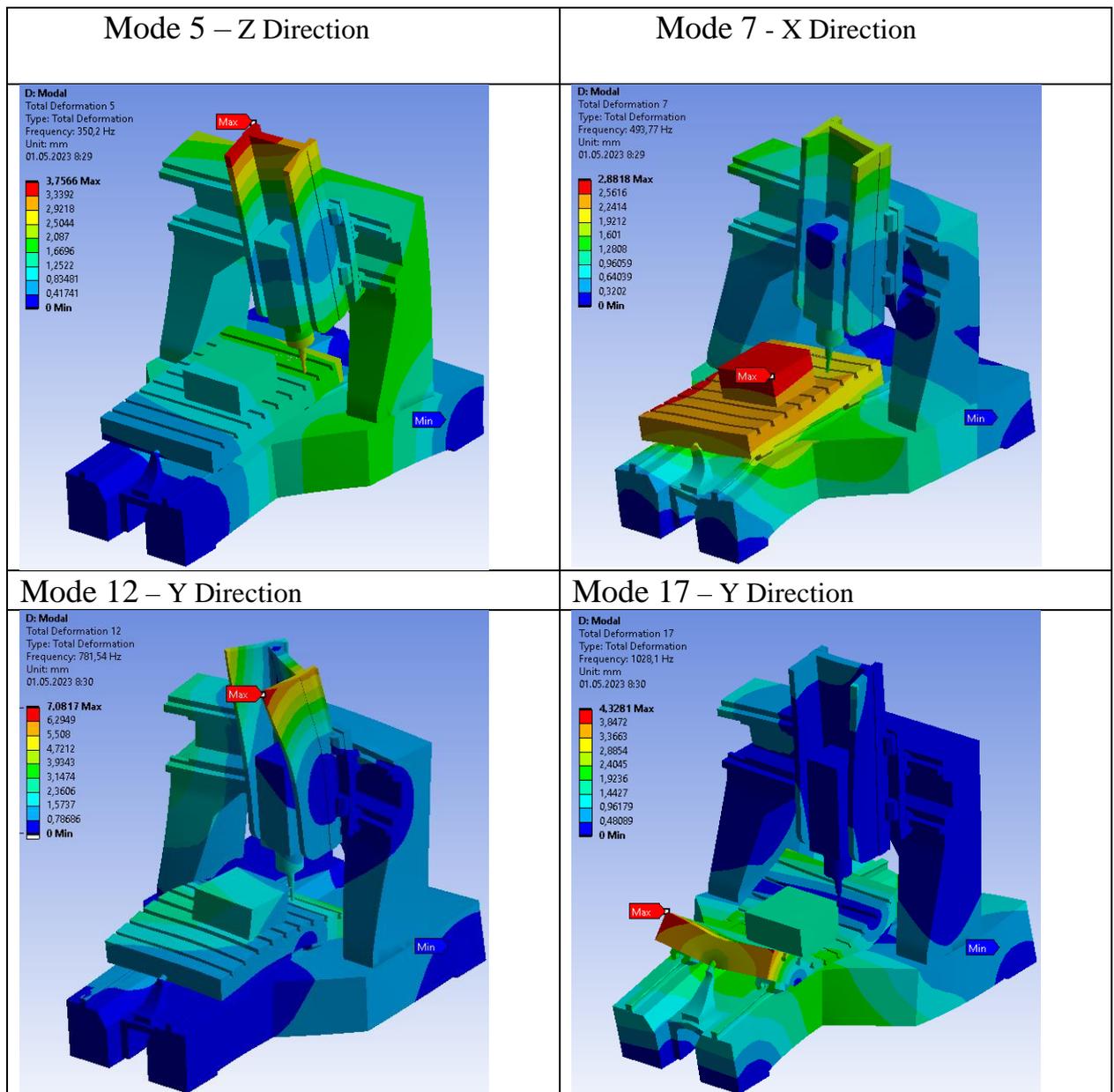
Таблица 40 - Наиболее заметные моды с вовлечённой массой

Mode	Frequency [Hz]	X Direction	Y Direction	Z Direction
1	92,977		0,37227	
2	155,96	0,48801		
3	265,43	0,10564	0,18126	
4	310		0,16972	0,33228
5	350,2			0,5854
7	493,77	0,47015		
12	781,54		0,1318	
17	1028,1		0,17133	

В таблицу 41 вставляем формы мод (1, 2, 3, 4, 5, 7, 13).

Таблица 41 - Фрмы заметных мод





1.5 Гармонический анализ, метод суперпозиции мод

Гармонический анализ предназначен для решения уравнений движения в случае установившихся колебательных процессов (вынужденных колебаний).

$$([\mathbf{K}] - \Omega^2 \cdot [\mathbf{M}] + i\Omega [\mathbf{C}]) \cdot (\{u_1\} + i\{u_2\}) = (\{F_1\} + i\{F_2\}) \quad (1)$$

где, $[\mathbf{M}]$ – матрица масс;

$[\mathbf{C}]$ – матрица демпфирования;

$[\mathbf{K}]$ – матрица жёсткости;

$\Omega=2\pi f$ – внешняя круговая частота;

f – частота внешних сил;

$\{u_1\} = \{u_{\max} \cdot \cos\varphi\}$ – действительная часть вектора перемещений;

$i \cdot \{u_2\} = \{u_{\max} \cdot \sin\varphi\}$ – мнимая часть вектора перемещений;

$\{F_1\} = \{F_{\max} \cdot \cos\psi\}$ – действительный вектор внешней силы, изменяющийся по гармоническому закону;

$i \cdot \{F_2\} = \{F_{\max} \cdot \sin\psi\}$ – мнимый вектор внешней силы, изменяющийся по гармоническому закону;

F_{\max} – амплитуда сил;

ψ – сдвиг фаз для сил (радиан);

Существуют три метода решения уравнения:

- Полный
- Сокращённый
- Метод суперпозиции мод

Полный метод решения – уравнение (1) решается непосредственно.

Применяется при наличии в системе заметного демпфирования.

Сокращённый метод – выделяются наиболее существенные степени свободы, определяющие критическое поведение конструкции. Уравнения и время расчёта сокращаются.

Метод суперпозиции мод (МСМ) – использует собственные частоты и формы колебаний для анализа установившихся вынужденных колебаний.

В основе МСМ лежит разложение неизвестного решения по собственным модам и переход к модальным координатам u_j :

Общее уравнение движения:

Формула для вычисления:

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [C] \cdot \{\dot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = \{F\} \quad (2)$$

где, $[M]$ – матрица масс;

$[C]$ – матрица демпфирования;

$[K]$ – матрица жёсткости;

$\{\ddot{u}\}$ – вектор ускорений;

$\{\dot{u}\}$ – вектор скоростей;

$\{u\}$ – вектор перемещений;

$\{F\}$ – вектор внешней силы, изменяющийся по гармоническому закону;

Уравнение включает сложную матричную алгебру, требуется много вычислительных ресурсов.

Систему уравнений можно сократить, если вектор перемещений выразить через модальные координаты y_i .

Выражаем вектор перемещений через модальные координаты:

$$\{u\} = \sum_{i=1}^n \{\varphi_i\} \cdot y_i$$

где, φ_i – форма i -той моды;

n – количество используемых мод;

Подставляя в уравнение (2) модальные координаты и умножаем на форму колебаний $\{\varphi_i\}^T$, получим следующее уравнение:

$$\{\varphi_j\}^T \cdot [M] \cdot \{\varphi_j\} \cdot \ddot{y}_j + \{\varphi_j\}^T \cdot [C] \cdot \{\varphi_j\} \cdot \dot{y}_j + \{\varphi_j\}^T \cdot [K] \cdot \{\varphi_j\} \cdot y_j = \{\varphi_j\}^T \cdot \{F\} \quad (3)$$

Собственные формы K и M ортогональны. Если возможна C – ортогональность, тогда систему уравнений (3) можно упростить до n отдельных уравнений:

$$\ddot{y}_j + 2\omega_j \zeta_j \dot{y}_j + \omega_j^2 \cdot y_j = f_j$$

Где, y_j – модальная координата;

ω_j – собственная круговая частота j ;

ζ_j – относительная величина демпфирования моды j ;

f_j – сила, соответствующая модальной координате j ;

$$f_j = \{\varphi_i\}^T \cdot \{F\};$$

Преимущество несвязанной системы уравнений в том, что вычислительная затратная матричная алгебра выполняется в собственном решателе, что делает решение суперпозиции мод быстрым и эффективным.

Модальные координаты u_j преобразуются обратно в геометрическое смещение $\{u\}$, с использованием уравнения вектора смещения.

$$\{u\} = \sum_{i=1}^n \{\varphi_i\} \cdot y_i$$

Отдельные модальные отклики u_j с соответствующими формами мод накладываются друг на друга, для получения фактического отклика. Отсюда и название метод – суперпозиция.

Решатель Harmonic response, нисходящая ветвь MSUP. Данные модального анализа, с результатами передаются в решатель гармонического отклика. Мы используем два идентичных решателя, силы резания, изменяющаяся по гармоническому закону, прикладывается к торцу оправки инструмента и заготовки по осям X и Y, в противоположных направлениях.

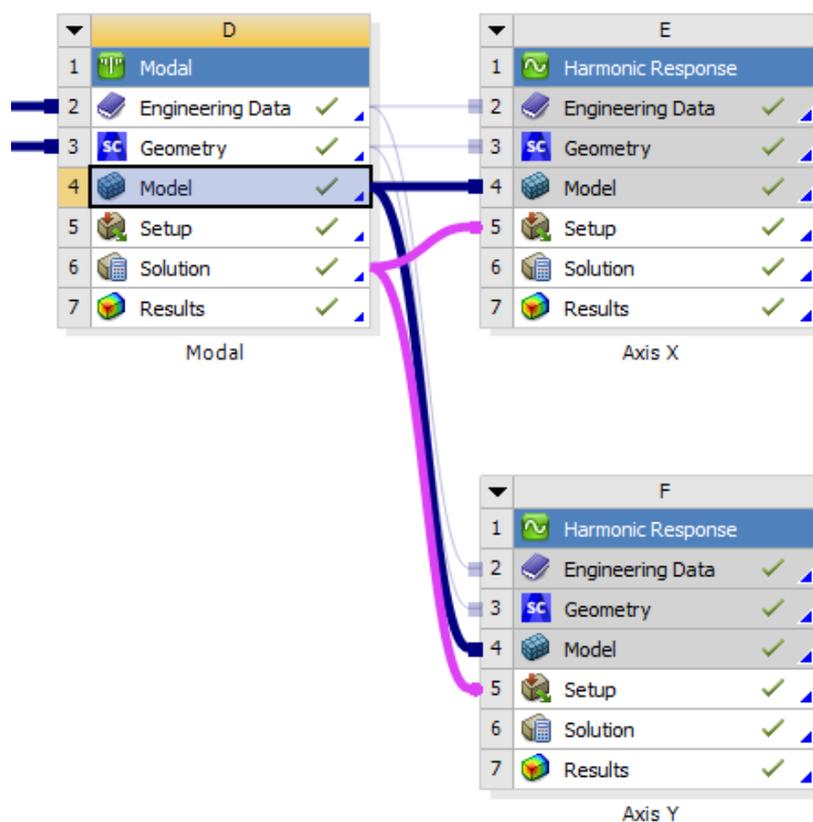


Таблица 42 - Характер нагрузки

Сила резания, F [Н]	Обороты шпинделя, n_1 [об/мин]	Обороты шпинделя, n_2 [об/мин]	Число зубьев фрезы, [z]
340	28647	31 830	2

Частота пульсации силы резания:

$$v = \frac{n \cdot z}{60};$$

$$v_1 = 955 \text{ Гц};$$

$$v_2 = 1061 \text{ Гц};$$

Гармонический отклик вдоль оси X. Прикладываем силы резания - 340 Н, к торцу шпинделя и 340 Н к заготовке.

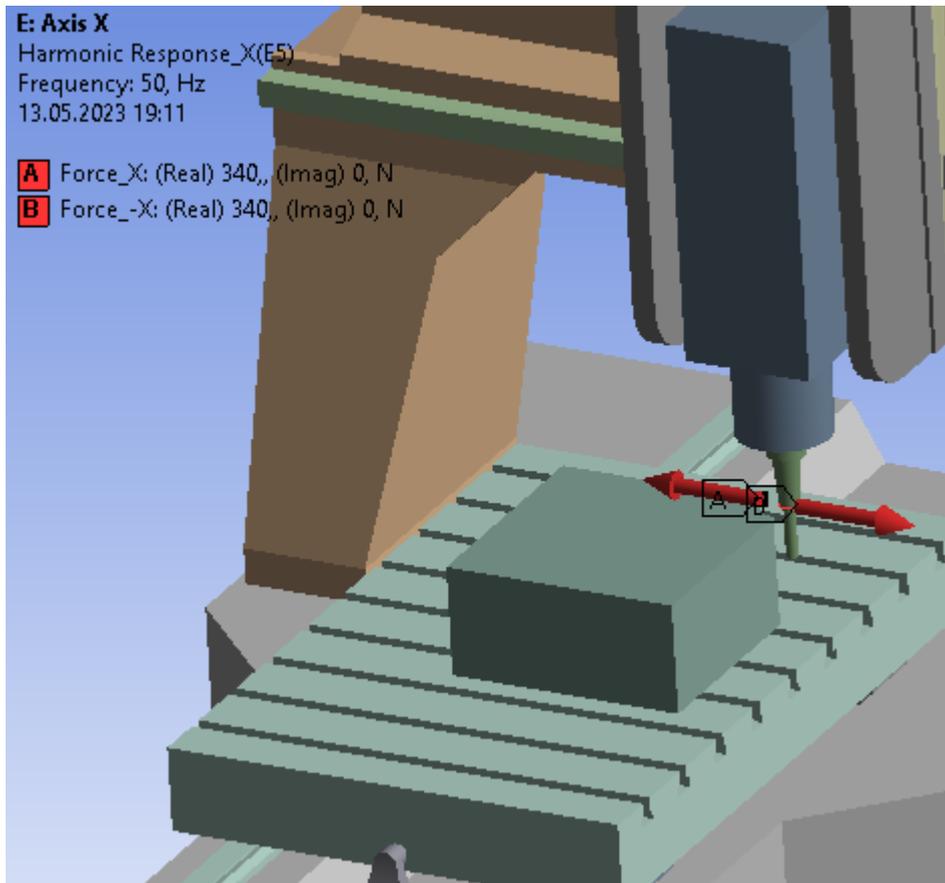


Рисунок 15 - Внешняя нагрузка вдоль оси X

Деформация вдоль оси X, при гармоническом отклике, наложение колебаний, для появления резонанса, не заметно, коэффициент участия мод в, исследуемом диапазоне, для оси X отсутствуют. Максимальная амплитуда колебания на частоте 965 Гц – $1,394 \cdot 10^{-5}$ мм.

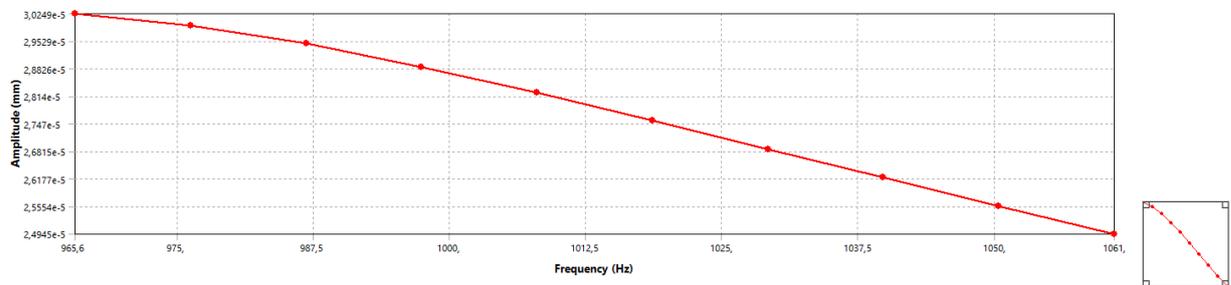


Рисунок 17 - Диаграмма Бode. Зависимость величина амплитуды от частоты. Ось X

Гармонический отклик вдоль оси Y. Прикладываем силы резания -340 Н, к торцу шпинделя и 340 Н к заготовке.

Собственные колебания станка, по оси X, 987 Гц, заметный коэффициент участия моды $4,59 \cdot 10^{-3}$.

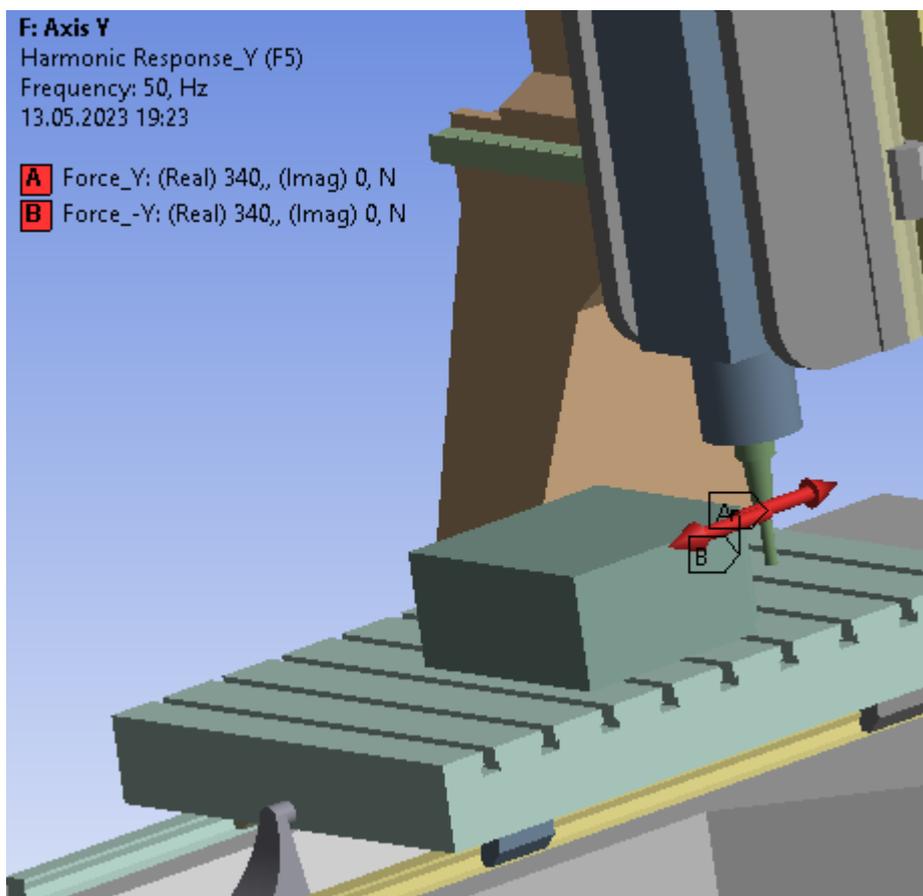


Рисунок 16 - Внешняя нагрузка вдоль оси Y

Деформация вдоль оси Y, при гармоническом отклике, наложение колебаний, для появления резонанса, не заметно. Максимальная амплитуда колебания на частоте 965 Гц – $1,17 \cdot 10^{-5}$ мм.

Собственные колебания станка, по оси Y, 1028,1 Гц, заметный коэффициент участия моды 0,17.

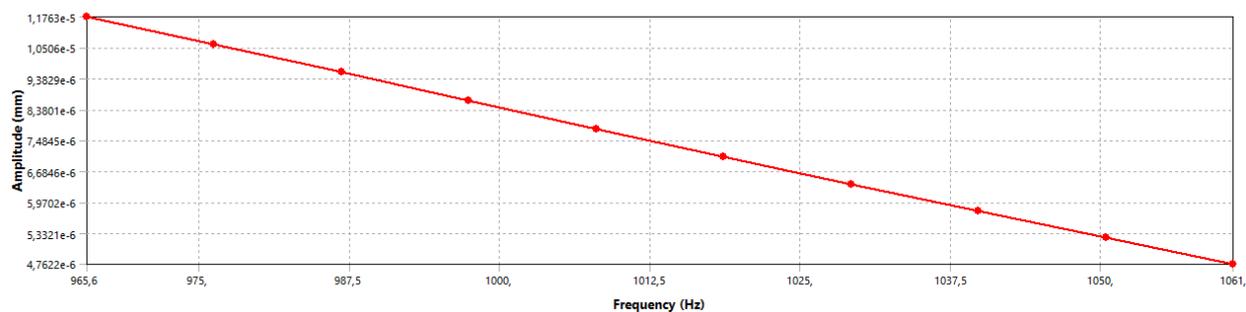


Рисунок 18 - Диаграмма Боде. Зависимость величина амплитуды от частоты. Ось Y
 Два графика красный ось X, зелёный ось Y, рисунок 17. Гармонический отклик системы заметно больше по оси X.

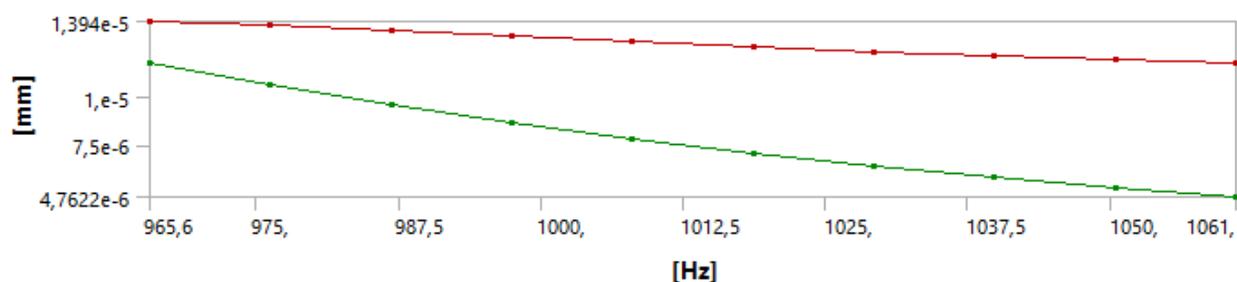


Рисунок 19 - Диаграмма Боде. Зависимость величина амплитуды от частоты. Ось X и Y
 Собственные частоты станка от 955 до 1145 Гц, не вызывают резонансных явлений.

Выводы по разделу

Жёсткость станка, рассчитанная, методом структурной петли, при усилиях резания $F = 340 \text{ Н}$, по осям X, Y и Z находится в диапазоне 19,8 - 28,7 Н/мкм.

Деформация, рассчитанная методом структурной петли, от усилия резания $F = 340 \text{ Н}$, по осям X и Y

$$\delta_x = 12 \text{ мкм},$$

$$\delta_y = 12 \text{ мкм}.$$

Жёсткость станка, рассчитанная, решателем static structural, в многоцелевом пакете программ для численного моделирования Ansys 21 R1, при усилиях резания F 340 Н, по осям X, Y находится в диапазоне 6 -6,6 Н/мкм.

Жёсткость станка мала, для повышения необходимо заменить шариковые каретки на роликовые и увеличить диаметр ШВП.

Деформация, рассчитанная решателем static structural, в многоцелевом пакете программ для численного моделирования Ansys 21 R1, от усилия резания F 340 Н, по осям X и Y:

$\delta_x = 56,8$ мкм, превышает в 4,7 раза ручной расчёт;

$\delta_y = 51,6$ мкм, больше в 4,3 раза ручного расчёта.

Упрощенный метод структурной петли не учитываем вклад в величину деформации сборочных деталей станка.

Методом перебора в static structural вычислено усилие резания, для достижения точности обработки 0,01 мм. Усилие резания не должно превышать 70 Н.

Модальный анализ, modal analysis, вычислил собственные частоты станка от 93 до 1145 Гц. Проведённый анализ гармонического отклика, harmonic response analysis, на основании частот модального анализа, показал отсутствие резонансных явлений при обработке, в диапазоне частот работы инструмента от 955 до 1061 Гц.

Максимальные амплитудные колебания по осям:

$$A_x = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ мм,}$$

$$A_y = 1,17 \cdot 10^{-5} \text{ мм.}$$

Станина из синтегранита, с высоким коэффициентом демпфирования, способствует отсутствию резонансных явлений, при фрезеровании.

2. Финансовый менеджмент

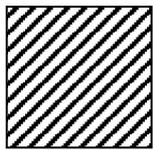
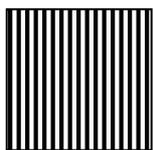
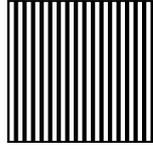
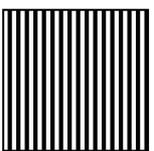
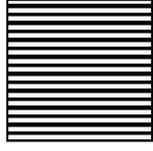
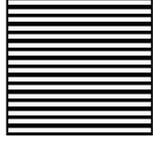
2.1 Предпроектный анализ [13]

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, *сегмент рынка* – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Потенциальные потребители результатов исследования (рис. 1).

2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

		Потребители станков с ЧПУ				
		ВУЗ	ПТУ, ФЗУ, Колледжи	Предприятия среднего бизнеса	Предприятия малого бизнеса	Физические лица
Цена станка ЧПУ т. руб.	От 900					
	От 600 до					
	До 600					

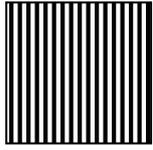
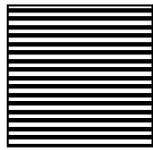
	"Станкин"		"Фрезер"		"Дельта"
---	-----------	---	----------	---	----------

Рис. 1. Карта сегментирования рынка потребителей станков с ЧПУ с станиной из синтегран

Для нашего проекта свободна ниша физических лиц (хобби) и небольшая конкуренция в секторе малых предприятий.

2.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 1 - оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Металлоёмкость	0,05	5	5	5			
2. Демпфирование	0,12	5	5	5			
3. Статическая жёсткость	0,05	5	4	4			
4. Динамическая жесткость	0,04	5	4	4			
5. Стабильность формы	0,05	5	5	5			
6. Теплопроводность	0,05	5	5	5			
7. Коррозионная стойкость	0,02	5	5	5			
8. Энергоэкономичность	0,06	4	4	4			
9. Серийность	0,05	4	4	4			
10. Трудозатраты	0,03	4	4	4			
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	4	5	5			
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	5			
3. Цена	0,1	5	4	4			
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5			
5. Послепродажное обслуживание	0,05	4	4	4			
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	4	4			
7. Срок выхода на рынок	0,05	4	5	5			
8. Наличие сертификации разработки	0,05	4	5	5			
Итого	1						

2.1.3 SWOT - анализ

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

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 2 - Матрица SWOT

Внутренние параметры	(S)-Сильные стороны	<p>C1. Глубина проработки проекта благодаря полученным знания в ТПУ.</p> <p>C2. Навыки работы в современных компьютерных программах.</p> <p>C3. Можем выпускать оборудование по индивидуальным запросам потребителя, единичными экземплярами.</p> <p>C4. Возможность получения консультации научных сотрудников ТПУ.</p>
	(W)-Слабые стороны	<p>Сл1. Нет рабочей технологии получения смеси синтегрона.</p> <p>Сл3. Нет данных о сроке службы базировочных поверхностей, полученных оттиском на полимере.</p> <p>Сл4 Увеличение себестоимости при поставках комплектующих (через третьи страны).</p> <p>Сл5. Недостаток управленческих навыков.</p>
Внешние параметры	(O)-Возможности	<p>B1. Увеличение размера внутреннего рынка в результате внешних санкций.</p> <p>B2. Льготы по налогам и кредитам государства, в связи с политикой по импортозамещению.</p> <p>B3. Расширение рынка при использовании технологии литья для разных технических систем.</p> <p>B4. Аутсорсинг при использовании инновационной инфраструктуры ТПУ</p>

	(Т)-Угрозы	У1. Полный запрет поставки комплектующих из западных стран, в результате введённых санкций. У2. Отсутствие на азиатских рынках качественных компонентов. У3. Волатильность рубля. У4. На рынке труда увеличение дефицита квалифицированных работников.
--	------------	---

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 3 - поэлементный анализ SO (min-max).

Максимизируем сильные стороны и возможности.

		Сильные стороны проекта(S)			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта(O)	B1	-	-	-	-
	B2	-	-	-	-
	B3	-	-	+	+
	B4	+	+	+	+
		Сильное соответствие		Слабое соответствие	
Корреляция возможностей	B1			B1C1-C4	
	B2			B2C1-C4	
	B3	B3C3C4		B3C1C2	
	B4	B4C1-C4			
		B3B4C3C4		B1B2B3C1C2	

Поэлементный анализ ST (max-min)

Максимально развиваем сильные стороны и минимизируем угрозы.

		Сильные стороны проекта(S)			
		C1	C2	C3	C4
Угрозы проекта(T)	У1	-	-	+	-
	У2	-	-	+	-
	У3	-	-	+	-
	У4	-	+	+	-
		Сильное соответствие		Слабое соответствие	
	У1	У1С3		У1С1С2С4	
	У2	У2С3		У2С1С2С4	
	У3	У3С2С3		У3С1С2С4	
	У4	У4С3		У4С1С4	
Корреляция угроз		У1У2У3У4С3		У1У2У3У4С1С4 У1У2У3С1С2С4	

Поэлементный анализ WO (mix-max)

Минимизация слабых сторон и максимизация возможностей

		Слабые стороны проекта(W)			
		W1	W2	W3	W4
Возможности проекта(O)	O1	-	-	+	+
	O2	-	-	+	-
	O3	-	-	+	+
	O4	-	-	-	+
		Сильное соответствие		Слабое соответствие	
	O1	O1Сл3Сл4		O1Сл1Сл2	
	O2	O2Сл3		O2Сл1Сл2Сл4	
	O3	O3Сл3Сл4		O3Сл1Сл2	
	O4	O4Сл4		O4Сл1Сл2Сл3	
Корреляция возможностей		O1O2O3Сл3		O1O2O4Сл1Сл2	

Поэлементный анализ WT (min-min)

Минимизируем слабые стороны и угрозы.

		Слабые стороны проекта(W)			
		W1	W2	W3	W4
Угрозы проекта(T)	У1	-	-	+	+
	У2	-	-	+	-
	У3	-	-	+	+
	У4	-	-	-	+
		Сильное соответствие		Слабое соответствие	
	У1	У1Сл3Сл4		У1Сл1Сл2	
	У2	У2Сл3		У2Сл1Сл2Сл4	
	У3	У3Сл3Сл4		У3Сл1Сл2	
	У4	У4Сл4		У4Сл1Сл2Сл3	
Корреляция угроз		У1У2У3Сл3		У1У2У4Сл1Сл2	

Третий этап - составляем итоговую матрицу SWOT-анализа.

Таблица 4 - SWOT анализ

	(S)-Сильные стороны	(W)-Слабые стороны
	<p>С1. Глубина проработки проекта благодаря полученным знания в ТПУ.</p> <p>С2. Навыки работы в современных компьютерных программах.</p> <p>С3. Можем выпускать оборудование по индивидуальным запросам потребителя, единичными экземплярами.</p> <p>С4. Возможность получения консультации у научных сотрудниках ТПУ.</p>	<p>Сл1. Нет рабочей технологии получения смеси из синтеграна.</p> <p>Сл3. Нет данных о сроке службы базировочных поверхностей, полученных оттиском на полимере.</p> <p>Сл4 Увеличение себестоимости при поставках комплектующих (через третьи страны).</p> <p>Сл5. Недостаток управленческих навыков.</p>
<p>(О)-Возможности</p> <p>В1. Увеличение размера внутреннего рынка в результате внешних санкций западных стран.</p> <p>В2. Льготы по налогам и кредитам государства, в связи с политикой по импортозамещению.</p> <p>В3. Расширение рынка при использовании технологии литья для разных технических систем.</p> <p>В4. Аутсорсинг в использовании инновационной инфраструктуры ТПУ</p>	<p>1. Увеличение количества потребителей, в результате работы с по индивидуальным запросам - В3С3С4;</p> <p>2. Снижение порога и времени выхода на рынок, при кооперации с инновационной инфраструктурой ТПУ - В4С1-С4;</p> <p><i>Максимизируем сильные стороны и возможности.</i></p>	<p>1. Развитие творческого подхода при работе с клиентами - В1С1-С4;</p> <p>2. Привлечение научных консультантов и услуг инженерных центров - В2С1-С4;</p> <p>3. Увеличение расходов на рекламу - В3СС12</p> <p><i>Минимизация слабых сторон и максимизация возможностей</i></p>
<p>(Т)-Угрозы</p> <p>У1. Полный запрет поставки комплектующих из западных стран, в результате введённых санкций.</p> <p>У2. Отсутствие на</p>	<p>1. Заключаем договора поставки с отечественными компаниями.</p> <p>У1У2У3У4С3</p> <p><i>Максимально развиваем сильные стороны и минимизируем угрозы.</i></p>	<p>1. Поиск, качественных поставщиков на азиатских рынках.</p> <p>Поездка на тематические выставки в КНР.</p>

азиатских качественных компонентов. У3. Волатильность рубля. У4. На рынке труда увеличение дефицита квалифицированных работников.		У1У2У3Сл3 <i>Минимизируем слабые стороны и угрозы.</i>
--	--	---

2.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполняем специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 5.

Таблица 5 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	3	2
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	2
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	1
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2

8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	41	27

Так, при оценке степени проработанности научного проекта:

- 1 балл - означает не проработанность проекта;
- 2 балла – слабую проработанность;
- 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен;
- 4 балла – выполнено качественно;
- 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид:

- 1 - означает не знаком или мало знаю,
- 2 – в объеме теоретических знаний,
- 3 – знаю теорию и практические примеры применения,
- 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю,
- 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось:

от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если

от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если

от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если

от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего.

Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

В нашем случае:

Степень проработанности научного проекта - 41 (перспективность низкая).

Уровень имеющихся знаний у разработчика -27 (перспективность ниже среднего).

Вывод - требуется дополнительная работа над проектом и повышением компетенции разработчиков.

2.1.5 Методы коммерциализации НИИ

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект.

Методы коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Возможные варианты.

1. *Торговля патентными лицензиями*, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы;

2. *Передача ноу-хау*, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау;

3. *Инжиниринг* как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции;

4. *Франчайзинг*, т.е. передача или переуступка (на коммерческих условиях) разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях;

5. *Организация собственного предприятия*;

6. *Передача интеллектуальной собственности* в уставной капитал предприятия;

7. *Организация совместного предприятия*, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия;

8. *Организация совместных предприятий*, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Проанализировав перечисленные методы коммерциализации, выберем №5 - *организацию собственного предприятия*. Т.к. рынок небольшой, предприятие по выпуску станин, станков с ЧПУ будет оказывать услуги (не

будет работать на склад). Потребуется небольшое помещение для предприятия, малое количество персонала (возможно даже совмещение для сотрудников). Соответственно для входа на рынок нужны скромные финансовые вложения.

2.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются:

- 1) изначальные цели;
- 2) содержание;
- 3) фиксируются изначальные финансовые ресурсы;

4) определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного имеет следующую структуру:

2.2.1 Цели и результат проекта

В данном разделе раскрываем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 6 - заинтересованные стороны

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Заказчики: Профтехучилища, Университеты технического профиля. Малые предприятия связанные с механической инструментальной обработкой.	Покупают станины или станки, по индивидуальным спецификациям

Спонсоры	Прибыль от вложений
Государство	Создание новых рабочих мест. Ресурсосберегающие технологии. Налоги

В табл.7 перечислена иерархия целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта включают цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 7 - цели и результаты проекта

Цели проекта:	Создание предприятия по выпуску станин для станков методом литья из синтеграна. Осваиваемая технология позволяет значительно снизить металлоёмкость и энергоёмкость изделий, по сравнению с традиционными технологиями.
Ожидаемые результаты проекта:	Создание предприятия по выпуску станин станков и механизмов методом литья из смеси синтеграна.
Критерии приемки результата проекта:	Продажи на рынке с конкурентноспособной продукции. Получение прибыли.
Требования к результату проекта:	Требование:
	1. Портфель заказов.
	2. Отработанная технология.
	3. Точка безубыточности через шесть месяцев.
	4. Сертифицированные поставщики материалов и комплектующих.
	5. Минимизация логистических издержек.

2.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы определяем рабочую группу проекта, роль каждого участника, а также прописываем функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представили в табличной форме (табл. 8).

Таблица 8 - рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
	Крауиньш Д.П. доцент	Руководитель	Координирует деятельность	82
	Крауиньш П.Я. профессор	Эксперт	Консультации по проекту	41
	Плотер А.А. магистрант	Исполнитель	Работа над проектом	480
	<u>Федоров Василий Викторович</u> Учебный корпус № 11Г, офис 08	Субподрядчик	Научно-производственная лаборатория "Современные производственные технологии"	41
	<u>Егоров Юрий Петрович</u> ул. Тимакова, 12	Субподрядчик	Научно-исследовательская лаборатория "Механических испытаний и металлографического анализа материалов"	41
	<u>Лебедев Сергей Михайлович</u> Учебный корпус № 11Б	Субподрядчик	Научно-производственная лаборатория "Технология переработки полимеров и композиционных материалов"	41
ИТОГО:				685

2.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

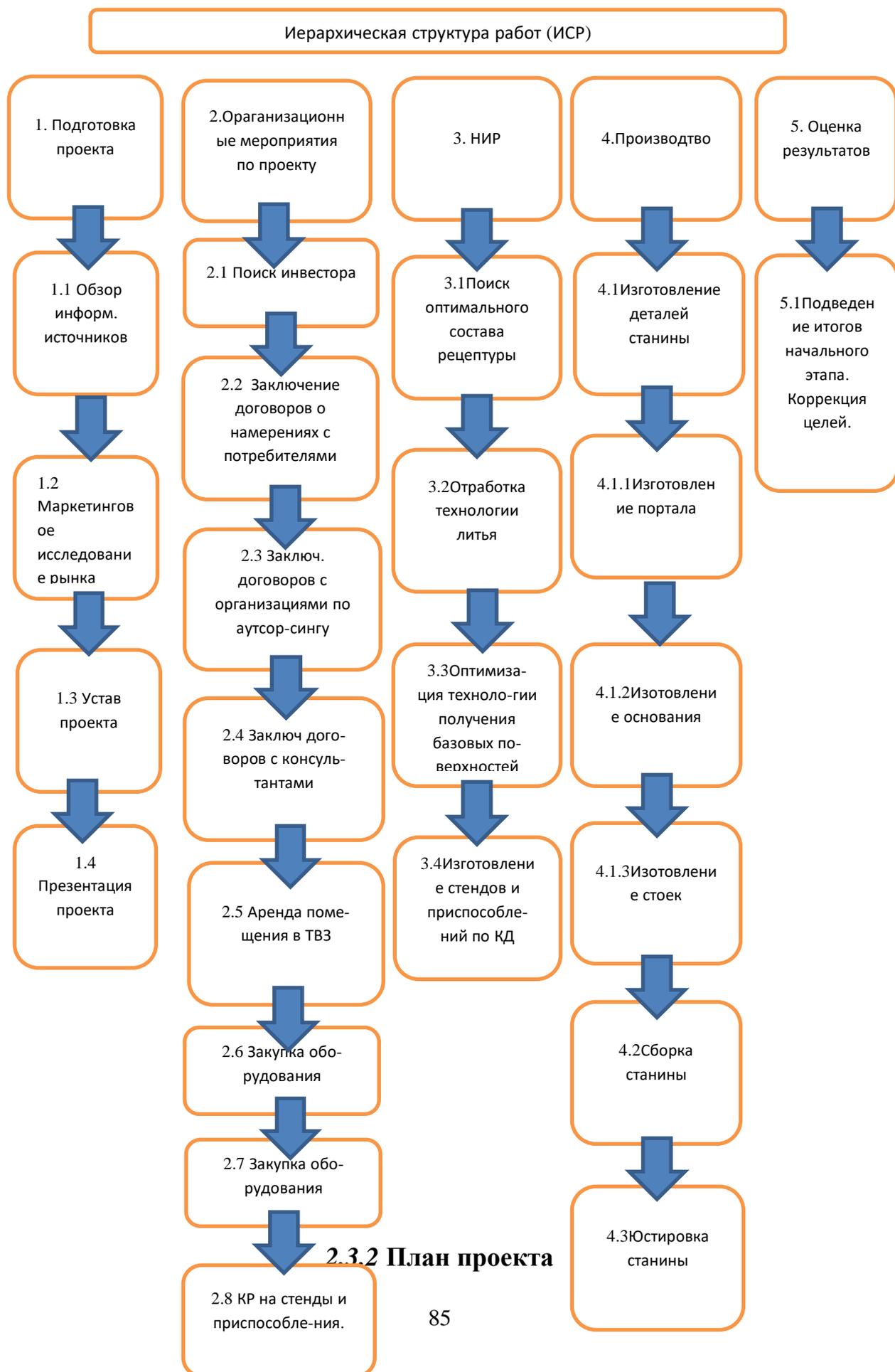
Таблица 9 - ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	2 000 000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	Грант Томской области
3.2. Сроки проекта:	12 месяцев
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	02.02.2023 г.
3.2.2. Дата завершения проекта	02.02.2024г.
3.3. Прочие ограничения и допущения*	

Примечания: к прочим ограничениям могут относиться ограничения на количество ресурсов

2.3 Планирование управления научно-техническим проектом

2.3.1 Иерархическая структура работ проекта. По этапам



В рамках планирования научного проекта строим календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представлен в виде таблицы (табл. 10).

Таблица 10 - календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1.1	Составление, выдача технического задания	1	02.02.23г.	02.02.23г.	Крауиньш Д.П.
1.2	Обзор информационных источников	10	03.02.23г.	13.02.23	Плотер А.А.
1.3	Маркетинговое исследование рынка	20	03.02.23	23.02.23	Плотер А.А.
1.4	Оформление проекта	3	06.02.23	09.02.23	Плотер А.А.
1.5	Оформление презентации проекта	2	11.02.23	13.02.23	Плотер А.А.
2.1	Поиск и оформление договора с инвестором, получение финансирования.	10	11.02.23	21.02.23	Крауиньш Д.П. Плотер А.А.
2.2	Заключение договоров о намерениях с потребителями услуг и оборудования.	20	15.02.23	07.03.23	Крауиньш Д.П.
2.3	Заключение договоров со сторонними организациями (аутсорсерами).	10	15.02.23	07.03.23	Крауиньш Д.П.
2.4	Заключение договоров с научными консультантами.	10	15.02.23	07.03.23	Крауиньш Д.П.
2.5	Аренда помещения в ТВЗ	5	22.02.23	27.02.23	Крауиньш Д.П.

2.6	Закупка оборудования	10	22.02.23	04.03.23	Крауиньш Д.П. Плотер А.А.
2.7	Закупка материалов и комплектующих	10	22.02.23	04.03.23	Крауиньш Д.П. Плотер А.А.
2.8	Ремонт арендованного помещения	10	28.02.23	06.03.23	Плотер А.А.
2.9	Конструкторские работы над стендами и приспособлениями, опытным образцом станка.	30	22.02.23	14.03.23	Плотер А.А.
3.1	Изготовление стендов и приспособлений	10	01.03.23	11.03.23	Плотер А.А.
3.2	НИР по составу смеси	10	08.03.23	18.03.23	Плотер А.А.
3.3	НИР по отработке технологии литья	21	10.03.23	31.03.23	Плотер А.А.
3.4	НИР по отработке технологии получения базовых поверхностей на деталях станины	10	01.04.23	11.04.23	Плотер А.А.
4.1	Подведения итогов этапа НИР	1	12.04.23	12.04.23	Крауиньш Д.П.
5.1	Отливка и формирование базовых поверхностей основания станка	4	13.04.23	17.04.23	Плотер А.А.
5.2	Отливка и формирование базовых поверхностей портала станка	3	18.04.23	21.04.23	Плотер А.А.
5.3	Отливка и	3	21.04.23	24.04.23	Плотер А.А.

	формирование базовых поверхностей стоек станка				
5.4	Сборка, юстировка станины станка	2	25.04.23	27.04.23	Плотер А.А.
5.5	Монтаж направляющих станка	2	28.04.23	30.04.23	Плотер А.А.
5.6	Сборка, юстировка ШВП, стола, шпиндельной плиты, шпинделя.	10	01.05.23	11.05.23	Плотер А.А.
5.7	Измерения геометрической точности	1	11.05.23	12.05.23	Крауиньш Д.П. Плотер А.А.
5.8	Доработка конструкции. Внесение изменений в технологию и КД	5	13.05.23	18.05.23	Плотер А.А.
6.1	Заключение договора с заказчиком, получение предоплаты. Изготовление по спецификации заказчика КД станка.	5	19.05.23	24.05.23	Крауиньш Д.П. Плотер А.А.
6.2	Начало производства станин станков по спецификации потребителей. Первый станок на продажу.	30	24.05.23	23.06.23	Крауиньш Д.П. Плотер А.А.
6.3	Передача изделия заказчику. Получение полной выплаты.	2	24.06.23	26.06.23	Плотер А.А.
6.4	Внесение изменений в технологию и КД	2	27.06.23	29.06.23	Плотер А.А.
7.1	Оценка финансовых результатов. Коррекция планов.	1	30.06.23	01.07.23	Крауиньш Д.П.

					Плотер А.А.
7.2	Заключение договоров с агентствами для найма сотрудников.	1	02.07.23	2.07.23	Плотер А.А.
7.3	Размещение информации о компании в интернет пространстве.	10	02.07.23	12.07.23	Плотер А.А.
7.4	Продолжаем производство станин по спецификации заказчиков.		с 02.07.23		
И т о г о:					

Таблица 11 - параметры календарного плана проекта

№		Количество дней
1	Общее количество календарных дней для выполнения НИР	148
2	Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	52
3	Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер (дипломник)	147

2.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице (табл. 12).

Таблица - 12 Группировка затрат по статьям

	Вид работ	Обознач	Затраты, руб.
статьи	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	С _м	317 656,3
	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	С _{обор}	518 898,4
	Основная заработная плата	З _{осн}	402 196,7
	Дополнительная заработная плата	З _{доп}	48 263,6
	Отчисления на социальные нужды	С _{внеб}	135 137,9
	Научные и производственные командировки	С _{ком}	45 046
	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	С _{стор.раб}	128 000
	Прочие прямые расходы	-	-
	Накладные расходы	С _{накл}	360 368,24
	Итого плановая себестоимость		1 955 567,18

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам.

В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в табл. 13.

Таблица 13 - сырьё, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Щебень гранитный	фр. 5-10 мм	1000 кг	1650	1 650
Щебень гранитный	фр. 2-5 мм	1000	1450	1 450

		кг		
Гранитный отсев	фр. 0-5 мм	1000 кг	1450	1 450
Клей эпоксидный	ЭД-20	80 кг	32800	32 800
Фанера ламинированная	2440x1220x12	2	9600	9 600
Растворитель	Уайт-спирит нефрас	10 л	975	975
Растворитель	646	10 л	1 198	1 198
Воск разделитель для эпоксидной смолы	400 мл	12	3 840	3 840
Метизы	В ассортименте		4 000	4 000
Система линейных перемещений высокого класса точности	Рельс HGR25RH	5,6 м	58 234	58 234
Система линейных перемещений высокого класса точности	Каретки HGW25CCZAH	12 шт.	7 183,4	86 200,8
ШВП	SCR 2010-5-TBI	3	4 929	14 785
Гайка	SFU 2010-C5-TBI	3	6 200	18 600
Корпус гайки	DSG 2005/2010	3	1 065	3 195
Опора винта подвижная	BF20-C5	3	6 758	20 274
Опора винта стационарная	BK20-C5	3	11 426	34 278
Канцелярские товары в ассортименте			10 000	10 000
Всего за материалы				302 529,8
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				15 126,5
Итого по статье С _м				317 656,3

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 14 - расчёт затрат по статье "Спецоборудование для научных работ"

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	<u>Вибростол ВИБРОМАШ ВС290. 300 кг</u>	1	101 567	101 567
2.	Весы платформенные ЭЛЬТОН-150 кг (1000 x 1000 мм) констр.ст., Н8С, А-12Е/Титан12, ГС	1	63 305	63 305
	Весы торговые (до 40кг ВПС-40 Д Гарант с металлическими кнопками, опцией живой вес LCD, 220V+АКБ точность 5 гр платформа 23x33 см.	1	4 390	4 390
	Тара для строительных смесей assort.	1	3 000	3 000
	Шпатели, кисточки, шкурка в assortименте		2000	2 000
	Бетоносмеситель Калибр БСЭ-120	1	12 490	12 490
	СИЗ в assortимента		12 000	12 000
	Кран гаражный RC-1F 1т	1	17 990	17 990
	Шуруповёрт Makita DDF485	1	24 600	24 600
	Лобзик Интеркол МП-65/550Э	1	4 379	4 379
	Набор сверл по металлу, 1-13 мм (через 0,5 мм), 25 шт	1	1 620	1 620
	Набор плашек и метчиков из 32-х предметов	1	3 720	3 720
	Набор пилок (20 шт.) для лобзика RAK20JB Ryobi	1	1 721	1 721
	Штангенциркуль ШЦ 150-0,5	1	450	450
	Угольник поверочный УШ 250x160 кл.1 КЛБ (госреестр № 78345-20)	1	9 338	9 338
	Угольник поверочный УП 250x160x50 кл.0 гранит	1	39 312	39 312
	Брусковый уровень, 150мм 0.05мм/м ЧИЗ	1	29 515	29 515
	Линейка поверочная ШД-1600 кл.1 ЧИЗ	1	82 600	82 600
	Индикатор часового типа ИЧ-10 0,01	1	2 280	
	Зонт вытяжной лабораторный ЛК-900 ЗВП (900x500x440) потолочный	1	16 830	16 830

	Вентилятор канальный ESQ ВКК-200	1	12 690	12 690
	ПК системный блок	1	74 030	74 030
	Монитор 1920x1080@75 Гц, IPS, 1 мс	1	16 999	16 999
	Клавиатура, мышка, флешпамять 32 Гб		2 900	2 900
	МФУ лазерное Pantum M6500, ч/б, А4,	1	2 490	2 490
Итого по статье Собор.				451 216
Наценка 15% на доставку и монтаж, итого :				518 898,4

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений.

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (13)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от **предприятия** (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (14)$$

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

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 16);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (15)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 15).

Таблица 15 - баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	104
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	24
- отпуск	-	-
- невыходы по болезни		
$F_{\text{д}}$ действительный годовой фонд рабочего времени	199	223

Среднедневная заработная плата руководителя при шестидневной рабочей недели:

$$Z_{\text{дн1.рук}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}} = (53625 \cdot 10,4) / 199 = 2802,5 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя при пятидневной рабочей недели:

$$Z_{\text{дн1.инж}}=(Z_{\text{м}}\cdot M)/F_{\text{д}}=(34125\cdot 11,2)/223=1713,9 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}}=Z_{\text{б}}\cdot(1+k_{\text{пр}}+k_{\text{д}})\cdot k_{\text{р}} \quad (16)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – 0.3 премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$ – 0.2 коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Должностной оклад работников в месяц.

Для руководителя:

$$Z_{\text{м}}=Z_{\text{мс}}\cdot(1+k_{\text{пр}}+k_{\text{д}})\cdot k_{\text{р}}=27500\cdot(1+0,2+0,3)\cdot 1,3=53625 \text{ руб.}$$

Для инженера(магистра):

$$Z_{\text{м}}=Z_{\text{мс}}\cdot(1+k_{\text{пр}}+k_{\text{д}})\cdot k_{\text{р}}=17500\cdot(1+0,2+0,3)\cdot 1,3=34125 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата **руководителя** (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад $Z_{\text{б}}$ определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия. Размер окладов ППС и НС ТПУ представлен на корпоративном портале ТПУ:

<http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents.;>

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 16.

Таблица 16 - расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	27500	0,3	0,2	1,3	53625	2693,3	52	140051,6
Инженер	17500	0,3	0,2	1,3	34125	1783,4	147	262145,1
З _{зп} итого:								402196,7

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – 0,12 коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 * 140051,6 = 16806,2 \text{ руб.}$$

Для инженера (магистра):

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 * 262145,1 = 31457,4 \text{ руб.}$$

В табл. 17 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 17 - *заработная плата исполнителей НТИ*

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	140 051,6	262 145,1
Дополнительная зарплата	16 806,2	31 457,4
Зарплата исполнителя	156 857,8	293 602
Итого по статье $C_{зп}$	450 460,3	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Для руководителя:

$$C_{\text{внеб.рук}} = 0,3 \cdot 156857,8 = 47\ 057,34 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$C_{\text{внеб.инж}} = 0,3 \cdot 293602 = 88\ 080,6 \text{ руб.}$$

Научные и производственные командировки

В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

$$C_{\text{ком.}} = C_{зп} \cdot 0,1 = 450\ 460,3 \cdot 0,1 = 45\ 046 \text{ руб.}$$

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

На эту статью относится стоимость контрагентных работ, т.е. работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями по заказу данной научно-технической организации, результаты которых используются в конкретном НИИ. Кроме того, на эту статью расходов относят оплату консультаций, использование Internet и т.д. Величина этих расходов определяется по договорным условиям.

$$C_{\text{стор.раб}} = 128\,000 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 450\,460,3 = 360\,368,24 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИИ (название темы) по форме, приведенной в табл. 12.

2.3.4 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать табл. 18.

Таблица 18 - выбор организационной структуры проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

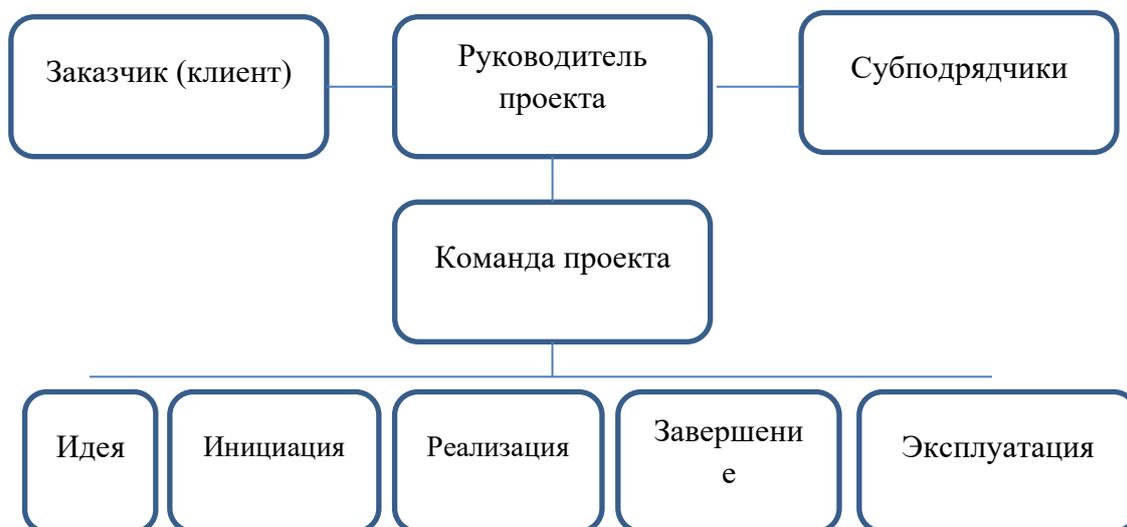


Рис. 3 Организационная структура проекта

2.3.5 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в табл. 19

Таблица 19 - пример плана управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

2.3.6 Реестр рисков

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (табл. 20).

Таблица 20 - реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
Технические						
1	Точность станка не соответствует заявленной	2	4	Средний	Меняем технологию	
Внешние						
2	Недостаточно заказчиков	3	4	Средний	Нанимаем маркетолога	
Организационные						
3	Отсутствие финансирования	2	5	Высокий	венчурное финансирование	
4	Отсутствует подходящее помещение	3	5	Высокий	Аренда двух и более помещений	
Управление проектом						
5	Увеличение сроков	3	3	Низкий	Ответственное планирование	

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя:

Социальная эффективность, учитывает социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Экономическую эффективность, учитывает финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом

случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетную эффективность, характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

2.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Применяется динамический метод оценки инвестиций. Данный метод учитывает факт неравноценности денежных поступлений и платежей, относящихся ко различным периодам времени. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если **NPV>0**, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 21. При расчете рентабельность проекта составляла **20-25 %**, норма амортизации-

10%. Амортизационные отчисления: $A_r = C_{перв} * N_a / 100$,

$C_{пер} = 518\,898,4$ руб. (табл. 14) затраты на оборудование

$N_a = 10\%$ – ставка амортизации, тогда:

$A_r = 518\,898,5 * 10 / 100 = 103\,779,7$ руб.

Бюджет проекта 1 955 567,8 руб. (табл. 12)

Таблица 21 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета, год					
		0	1	2	3	4	5
1	Объём продаж, шт.	0	8	10	11	12	14
2	Цена одного станка, т. руб.	0	580	600	620	640	650
3	Выручка от реализации, т. руб. (1*2)	0	4 640,0	6 000,0	6 820,0	7 680,0	9 100,0
5	Инвестиционные издержки, т. руб	1 955,57	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	Суммарные издержки (7+8), т. руб.	0	4 091,7	5 333,6	6 011,4	6 727,0	7 953,6
7	<i>Переменные издержки, т. руб.</i>	0	3 028,2	4 163,8	4 788,4	5 450,8	6 624,2
8	<i>Постоянные издержки, т. руб.</i>	0	1 063,5	1 169,9	1 223,0	1 276,2	1 329,4
9	Налогооблагаемая прибыль (3-6), т. руб.	0	548,3	666,4	808,6	953,0	1 146,4

10	Налоги 20% (9*20%), т. руб.	0	109,7	133,3	161,7	190,6	229,3
11	Чистая прибыль, руб. (9-10), т. руб.	0	438,6	533,1	646,9	762,4	917,1
12	Амортизация оборудования, (На 10%), т. руб.	0	51,9	51,9	51,9	51,9	51,9
13	Чистый денежный поток (ЧДП), т. руб. (11+12)	-1 955,6	490,5	585,0	698,8	814,3	969,0
14	Коэффициент дисконтирования при $i=10\%$ (КД)*	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
15	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), (13*14), т. руб.	-1 955,6	445,9	483,5	525,0	556,2	601,7
16	Σ ЧДД (сумм 1...5 периода, строка 15)	2 612 268,3 Р					
17	Итого NPV (5-16)	656 701,2 Р					

$$NPV = 2\,612\,268,3 \text{ руб.} - 1\,955\,567,1 \text{ руб.} = 656\,701,2 \text{ руб.} > 0$$

- $NPV > 0$ – проект принесет прибыль инвесторам;
- если $NPV = 0$ – увеличение объемов производства не повлияет на получение прибыли инвесторами;
- если $NPV < 0$ – проект принесет убытки инвесторам.

*Коэффициент дисконтирования (строка 14) рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 10 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет **656 701,2** рубля, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

или

$$PI = \frac{ЧДД}{I_0} > 1$$

где: ЧДП - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{2\,612\,268,3}{1\,955\,567,1} = 1,33$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR) - Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или $NPV = 0$. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 22 и на рисунке 4.

Таблица 22 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	5	
1	Чистый денежный поток, т. руб.	1 955,57	490,5	585,0	698,8	814,3	969,0	
2	Ставка дисконтирования %	Коэффициент дисконтирования						
	10	1,000	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621	
	20	1,000	0,833	0,694	0,579	0,482	0,402	
	30	1,000	0,769	0,592	0,455	0,350	0,269	
	40	1,000	0,714	0,510	0,364	0,260	0,186	
	50	1,000	0,667	0,444	0,296	0,198	0,132	
	60	1,000	0,625	0,391	0,244	0,153	0,095	
	70	1,000	0,588	0,346	0,204	0,120	0,070	
	80	1,000	0,556	0,309	0,171	0,095	0,053	
	90	1,000	0,526	0,277	0,146	0,077	0,040	
	100	1,000	0,500	0,250	0,125	0,063	0,031	
3	Ставка дисконтирования %	Дисконтированный денежный поток, т. руб.						NPV, т. руб.
	10	-1 955,6	445,9	483,5	525,0	556,2	601,7	656,7
	20	-1 955,6	408,8	406,2	404,4	392,7	389,4	46,0
	30	-1 955,6	377,3	346,1	318,1	285,1	261,0	-367,9
	40	-1 955,6	350,4	298,5	254,7	212,0	180,2	-659,9
	50	-1 955,6	327,0	260,0	207,0	160,9	127,6	-873,1
	60	-1 955,6	306,6	228,5	170,6	124,3	92,4	-1 033,2
	70	-1 955,6	288,5	202,4	142,2	97,5	68,2	-1 156,6
	80	-1 955,6	272,5	180,5	119,8	77,6	51,3	-1 253,8
	90	-1 955,6	258,2	162,0	101,9	62,5	39,1	-1 331,9
	100	-1 955,6	245,3	146,2	87,3	50,9	30,3	-1 395,5

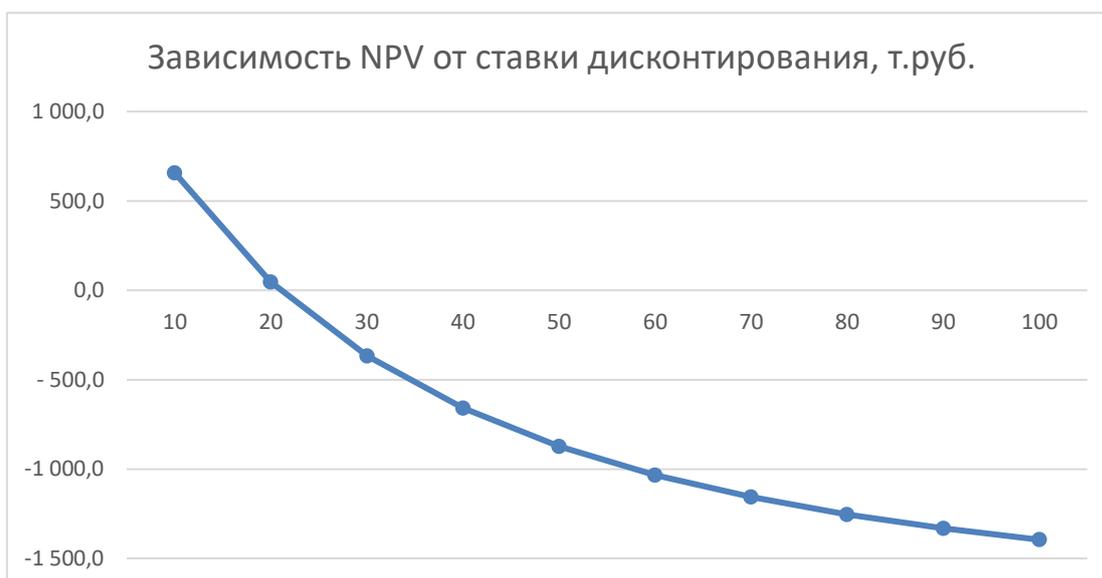


Рисунок 4 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 21%.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта:

$$21\% - 10\% = 11\%$$

Дисконтированный срок окупаемости.

Срок окупаемости (DPP) определяется по формуле:

$DPP = \text{число лет предшествующих окупаемости} + (\text{невозмещённая сумма на начало года окупаемости}) / (\text{приток наличности в течении года окупаемости});$

Правильным методом установления дисконтированного срока окупаемости, является расчет накопительного стр.4 (нарастающим итогом) денежного потока (табл. 23).

Таблица 23 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателей	Шаг расчета, год					
		0	1	2	3	4	5
1	Денежный поток, т. руб.	-1 955,6	490,5	585,0	698,8	814,3	969,0
2	Ставка дисконтирования, i, 10 %	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
3	Чистый дисконтированный денежный поток I (10,0), т. руб.(1*2)	-1 955,6	445,9	483,5	525,0	556,2	601,7
4	Накопительный дисконтированный денежный поток, т. руб.(4-3+1)	-1 955,6	-1 509,6	-1 026,2	-501,2	55,0	656,7
5	Дисконтированный срок окупаемости, DPP, лет	$DPP = 3 + \left \frac{-501,2}{556,2} \right = 3,9$					

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Для оценки социальной эффективности научного проекта необходимо выявить критерии социальной эффективности, на которые влияет реализация научного проекта и оценить степень их влияния.

Таблица 24 - критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Большие затраты энергии для плавки корпусных деталей из чугуна	Замена деталей из чугуна на синтегран. Кратно уменьшает расходы энергии.
Вредные и опасные условия труда в литейном производстве.	Новая технология значительно уменьшает опасные и вредные факторы.
Высокие капиталовложения в производство.	Низкие капиталовложения в производство.
Большая санитарно-защитная зона предприятия.	Маленькая санитарно-защитная зона предприятия.
Вредное воздействие на селитебную зону. Предприятие находится за городом.	На селитебную зону практически не оказывает отрицательного воздействия. Можем создать производство в черте города.

2.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 33). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

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

Таблица 25 - интегральный финансовый показатель разработки проектов

Проекты	Φ_{pi}	I_{ϕ}^p
Наш проект	1 955 567,18	0,61
Аналог 1	3 200 000	1
Аналог 2	2 600 000	0,81

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в (табл. 26).

Таблица 26 - сравнительная оценка характеристик ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект		Аналог 1		Аналог 2	
1. Сокращение срока исследования	0,1	5	0,5	4	0,4	4	0,4
2. Уменьшение времени изготовления продукта	0,15	4	0,6	4	0,6	3	0,45
3. Снижение трудоемкости продукта	0,25	5	1,25	3	0,75	4	1
4. Энергосбережение	0,2	4	0,8	4	0,8	4	0,8
5. Надежность	0,15	4	0,6	4	0,6	4	0,6
6. Материалоемкость	0,15	4	0,6	4	0,6	4	0,6
ИТОГО:	1		4,35		3,75		3,85

$$I_t^{ТП} = 4,35$$

$$I_t^{\text{аналог1}} = 3,75$$

$$I_t^{\text{аналог2}} = 3,85$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^P$) **и аналога** ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^P = \frac{I_t^P}{I_{ф}^P}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_t^a}{I_{ф}^a} \quad \dots$$

Таблица 27 интегральный показатель эффективности разработки вариантов исполнения проектов

Проекты	I_m^i	I_ϕ^i	$I_{финр}^i$
Наш проект	4,35	0,61	7,13
Аналог 1	3,75	1	3,75
Аналог 2	3,85	0,81	4,75

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{финр}^p$ – интегральный показатель нашей разработки; $I_{финр}^a$ – интегральный показатель аналога.

Таблица 28 - сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Обозначение	Наш проект	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный показатель финансовой эффективности	I_ϕ^p	0,61	1	0,81
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения	I_m	4,35	3,75	3,85
3	Интегральный показатель эффективности разработки	$I_{финр}^p$	7,13	3,75	4,75
4	Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов	\mathcal{E}_{cp}	1	0,53	0,67

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет предположить, что наш проект более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

3. Социальная ответственность

3.1 Введение

Раздел «Социальная ответственность» нацелен на разработку проектных решений, предотвращающих возникновение чрезвычайных ситуаций в производстве, а также на уменьшение воздействия отходов разного класса опасности на окружающую среду.

Тема моей выпускной квалификационной работы: *Станок с ЧПУ портального типа с элементами из синтеграна.*

(Синтегран или полимербетон – синтетический гранит – используется для изготовления инструмента, специальной оснастки, ответственных деталей измерительных комплексов, высокоточных и специальных станков (точность обработки которых составляет 0,001 мкм)

Требуется провести НИР по отработке технологии литья из полимербетона (синтеграна) деталей станины станка ЧПУ. Получение базировочных поверхностей, сборка комплектующих (рельсовых направляющих, шариковых винтовых передач, сервоприводов, мотор-шпинделя и т.д.)

Область применения: Машиностроение.

Пользователи разрабатываемого решения: предприятия средние и малые, учебные заведения машиностроительного профиля и физические лица.

Научно-исследовательские работы будут выполняться на территории Томской внедренческой зоны.

Актуальность работы связана с новым железным занавесом, установленным странами запада для нашей страны.

Помимо импортозамещения аналогичной продукции, выпускники Томского политехнического университета смогут вырасти профессионально.

Описание рабочего места (рабочей зоны): Рабочая зона 10x12 м. В которой установлено следующее оборудование: Бетономешалка 0,25 м³, вибрационный стол, сборочные столы 2x1м – 2 шт., напольный сверлильный станок, ручной слесарный, измерительный инструмент в ассортименте.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования:

- гранитный щебень, различных фракций, смешивается в бетономешалке с эпоксидной смолой;
- приготовленная смесь разливается в опалубочную форму для деталей станины и уплотняются на вибрационном столе;
- после затвердевания смеси, детали станины извлекаются из опалубочной формы;
- формируем поверхности базирования для стандартных комплектующих;
- на последнем этапе собираем и юстируем станок.

3.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

По трудовому законодательству [14]:

Режим рабочего времени

Продолжительность рабочего времени 40 часов в неделю. Продолжительность ежедневной работы (смены) 8 часов. Продолжительность рабочей недели – пятидневная с двумя выходными. В течении рабочего дня (смены) предусмотрен перерыв один час для отдыха и питания, в рабочее время не включается. Ежегодный отпуск 28 календарных дней, очерёдность в соответствии с графиком отпусков, график утверждается работодателем в соответствии с пожеланиями работников, не позднее чем за две недели до наступления календарного года.

Защита персональных данных

Защита персональных данных от утраты и неправомерного использования обеспечивается работодателем. Работники под роспись знакомятся с положением о порядке обработки персональных данных. При передаче персональных данных работодатель не должен сообщать персональные данные третьей стороне без письменного согласия работника. Исключение - когда передача без согласия предупреждает угрозу жизни и здоровья работника. Не сообщать персональные данные в коммерческих целях без письменного согласия работника. Лица получившие персональные данные работника должны быть предупреждены, что эти данные могут быть использованы только для целей, для которых они сообщены. Разрешать доступ к персональным данным работников только специально уполномоченным лицам. Работники организации имеют право на полную информацию об их персональных данных. Свободный и бесплатный доступ включая право на получение копий любой записи, содержащей персональные данные работника.

Лица, виновные в нарушении положений законодательства Российской Федерации в области персональных данных при обработке персональных данных работника, привлекаются к дисциплинарной и материальной ответственности в порядке, установленном настоящим Кодексом и иными федеральными законами, а также привлекаются к гражданско-правовой, административной и уголовной ответственности в порядке, установленном федеральными законами.

Оплата и нормирование труда

На предприятии для работников установлен должностной оклад - фиксированный размер оплаты труда работника за исполнение трудовых (должностных) обязанностей определенной сложности за календарный месяц без учета компенсационных, стимулирующих и социальных выплат.

При выплате заработной платы работодатель обязан извещать в письменной форме каждого работника:

1) о составных частях заработной платы, причитающейся ему за соответствующий период;

2) о размерах иных сумм, начисленных работнику, в том числе денежной компенсации за нарушение работодателем установленного срока соответственно выплаты заработной платы, оплаты отпуска, выплат при увольнении и (или) других выплат, причитающихся работнику;

3) о размерах и об основаниях произведенных удержаний;

4) об общей денежной сумме, подлежащей выплате.

Форма расчетного листка утверждается работодателем.

Заработная плата выплачивается работнику, как правило, в месте выполнения им работы либо переводится в кредитную организацию, указанную в заявлении работника.

Заработная плата выплачивается непосредственно работнику, за исключением случаев, когда иной способ выплаты предусматривается федеральным законом или трудовым договором.

Средний дневной заработок для оплаты отпусков и выплаты компенсации за неиспользованные отпуска исчисляется за последние 12 календарных месяцев путем деления суммы начисленной заработной платы на 12 и на 29,3 (среднемесячное число календарных дней).

Особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания

Согласно ст. 21 ТК РФ [14] работники имеют право на **обязательное социальное страхование** в случаях, предусмотренных федеральными законами. Обязательное социальное страхование включает в себя пособие по временной нетрудоспособности, пособие по беременности и родам, пособие по уходу за ребенком, различные виды пенсий и т.д.

Страховщиком является - Фонд социального страхования Российской Федерации. Страхователь – юридическое или физическое лицо нанимающее работников в штат. Застрахованный - работающее на предприятии физическое лицо, на основании трудового договора заключённого с работодателем.

Трудовая пенсия [15] - ежемесячная денежная выплата в целях компенсации застрахованным лицам заработной платы и иных выплат и вознаграждений, утраченных ими в связи с наступлением нетрудоспособности вследствие старости или инвалидности.

Трудовая пенсия выплачивается из пенсионных накоплений - сформированных за счет поступивших страховых взносов на финансирование накопительной части трудовой пенсии по старости, дополнительных страховых взносов на накопительную часть трудовой пенсии, взносов работодателя, уплаченных в пользу застрахованного лица, взносов на софинансирование формирования пенсионных накоплений, дохода от их инвестирования, средств гарантийного возмещения, поступивших в Пенсионный фонд Российской Федерации.

При назначении пенсии учитывается трудовой стаж, в течение которого уплачивались страховые взносы в Пенсионный фонд Российской Федерации и среднемесячный заработок.

Право на трудовую пенсию по старости имеют мужчины, достигшие возраста 65 лет, и женщины, достигшие возраста 60 лет, с 2028 года. Сейчас действует переходный период увеличения возраста выхода на пенсию, в 2022 году женщины должны выходить на пенсию в 56,5 лет, а мужчины — в 61,5 года. Трудовая пенсия назначается при наличии не менее пяти лет стажа.

Трудовая пенсия по старости может состоять из страховой и накопительной части.

Размер страховой части трудовой пенсии по старости определяется по формуле:

$$СЧ = ПК / Т + Б, .$$

где,

СЧ – страховая часть трудовой пенсии по старости;

ПК – сумма расчётного пенсионного капитала;

T – количество месяцев ожидаемой выплаты пенсии по старости 228;

Б – фиксированный базовый размер пенсии по старости.

Эргономические требования к рабочему месту

Рабочие места в положении стоя: приготовления смеси, заливка, вибрационный стол, сверлильный станок, верстак. По ГОСТ [16], для подхода к столу, верстаку, станку предусмотреть пространство для ног 150x150x530 мм глубина, высота и ширина.

Высота рабочего места 895 мм – категория работ тяжёлые.

Рабочие места смешения гранитного щебня [17], заливка в опалубочные формы и вибрационный стол, при работе на которых происходит выделение вредных веществ (пыли, газов,), должно устанавливаться в изолированных помещениях, оборудованных общеобменной приточно-вытяжной и местной вытяжной вентиляцией. При расположении в одном производственном помещении производственных участков с различными санитарно-гигиеническими условиями должны предусматриваться меры, исключающие распространение вредных и (или) опасных производственных факторов по производственному помещению.

Расстояния между технологическим оборудованием, между оборудованием и стенами, колоннами производственных помещений должны устанавливаться в зависимости от конкретных условий производственного процесса и должны быть:

- не менее 0,6 м - для мелкого оборудования (с размерами в плане до 1,5 x 1,0 м);
- не менее 0,7 м - для оборудования средних габаритов (с размерами в плане до 4,0 x 3,5 м);

- ширина основных проходов по фронту обслуживания и между рядами технологического оборудования при наличии постоянных рабочих мест должна быть не менее 1,5 м.

3.3 Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлено в таблице 1. Факторы выписаны из ГОСТ [18].

Таблица 1 - Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте – уплотнение синтегра на в опалубочной форме на вибрационном столе.

Факторы	Нормативные документы
Опасные факторы	
<p>1. производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</p>	<p>М.Ф. Яблонский, А.А. Буйнов Судебно-медицинская экспертиза повреждений, вызванных действием электричества. Учебное пособие, Витебск 2017.</p> <p>ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования.</p> <p>ГОСТ Р 50571.16-2019 Электроустановки низковольтные. Часть 6.</p> <p>ГОСТ 12.1.019-2017 электробезопасность общие требования и номенклатура защиты</p> <p>ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.</p> <p>Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</p>
<p>2. действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение твердых, сыпучих, жидких объектов на работающего;</p>	
<p>3. движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования);</p>	<p>ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общее требование безопасности.</p>

передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;	
Вредные факторы	
1. Микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего;	<p>СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах"</p> <p>Р 2.2.755-99 «Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса»</p> <p>СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.</p>
2. производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся: повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума;	<p style="text-align: center;">СанПиН 1.2.3685-21</p> <p>"Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"</p>
3. производственные факторы, связанные со световой средой: - отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения; - отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;	<p>СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*</p> <p>Методическое пособие проектирование искусственного освещения общественных и жилых зданий. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Москва 2016</p>
4. производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека: - через органы дыхания (ингаляционный путь); - через кожные покровы и слизистые оболочки (кожный путь);	<p>ГОСТ Р 56211— 2014 СМОЛЫ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВЫЕ НЕОТВЕРЖДЕННЫЕ</p> <p>Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны 2.2.5.1313-03</p> <p>Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления СанПиН 2.1.7.1322-03</p> <p>СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах"</p>

	ГОСТ 12.3.002-14 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. (с поправкой). ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам
5. производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха;	Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 13.02.2018 N 25 Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. ГОСТ 12.4.034-85 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка»; ГОСТ 12.4.041-2001 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования»

Анализ опасных и вредных производственных факторов

Опасные факторы

1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Источником опасного фактора на рабочем месте является ручной электроинструмент, вибрационный стол, электрические двигатели вытяжной вентиляции, проводка скрытая и открытая, светильники местного и общего освещения, переноски.

Действия электрического тока приводит к двум видам поражения [19], электрическим травмам и электрическим ударам.

Электрические травмы — это четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги (электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения).

Электрический удар — это возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольным судорожным сокращением мышц.

Различают четыре степени электрических ударов:

I степень — судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II степень — судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;

III степень — потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

IV степень — клиническая смерть, то есть отсутствие дыхания и кровообращения.

Проходя через организм, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие.

Таблица 2. Виды воздействия на организм электрического тока

Воздействие на организм	Последствия воздействия
Термическое действие	Выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов и нервных волокон
Электролитическое действие	Выражается в разложении крови и других органических жидкостей, вызывая значительные нарушения их физико-химических составов.
Биологическое	Действие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольным судорожным сокращением мышц, в том числе мышц сердца и легких. В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Причинами смерти от электрического тока могут быть прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок.

Таблица 3 Виды поражений электрических травм

Электрические ожоги	Возникают при термическом действии электрического тока. Наиболее опасными являются ожоги, возникающие в результате воздействия электрической дуги, так как ее температура может превышать 3000°C.
Электрометаллизация кожи	Проникновение в кожу под действием электрического тока мельчайших частиц металла. В результате кожа становится электропроводной, т. е. сопротивление ее резко падает
Электрические знаки	Пятна серого или бледно-желтого цвета, возникающие при плотном контакте с токоведущей частью (пс которой в рабочем состоянии протекает электрический ток). Природа электрических знаков еще недостаточно изучена.
Электроофтальмия	Поражение наружных оболочек глаз вследствие воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги.
Электрические удары	Общее поражение организма человека, характеризующееся судорожными сокращениями мышц, нарушением нервной и сердечно-сосудистой систем человека. Нередко электрические удары приводят к смертельным исходам.
Механические повреждения	(разрывы тканей, переломы) происходят при судорожном сокращении мышц, а также в результате падений при воздействии электрического тока. Характер поражения электрическим током и его последствия зависят от значения и рода тока, пути его прохождения, длительности воздействия, индивидуальных физиологических особенностей человека и его состояния в момент поражения.
Электрический шок	это тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма в ответ на сильное электрическое раздражение, сопровождающаяся опасными расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ и т.п. Такое состояние может продолжаться от нескольких минут до суток.

Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током:

- исход воздействия электрического тока на организм человека зависит от ряда факторов, основными из которых являются: электрическое сопротивление тела человека; величина электрического тока; длительность его воздействия на организм; величина напряжения, воздействующего на организм; род и частота тока; путь протекания тока в теле; психофизиологическое состояние организма, его индивидуальные свойства; состояние и характеристика окружающей среды (температура воздуха, влажность, загазованность и запыленность).

Для автоматического отключения подачи электрического напряжения на оборудование, необходимо выполнить **зануление** а также обеспечена система защитного уравнивания потенциалов, простое разделение, непроводящая окружающая среда, [23].

Примечание — У окружающей среды должно быть полное сопротивление по отношению к земле, не менее: 50 кОм, если номинальное напряжение системы не превышает 500 В, [20].

Сотрудники должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры в медицинском учреждении.

Сотрудники предприятия должны знать методики оказания первой медицинской помощи, без этого знания к работе не допускаются.

Распределяем работников организации по категориям и оформляем перечень должностей и профессий персонала, которым требуется иметь соответствующую группу по электробезопасности.

Таблица 4 - Группы электробезопасности на нашем предприятии

I группа по электробезопасности	-Сотрудники работающие с ПЭВМ и оргтехникой. -Персонал работающий в помещении где расположено электрооборудование. -Уборщики производственных помещений.
II группа по электробезопасности	-Сотрудники работающие с переносным электроинструментом. -Персонал работающий на станочном оборудовании. -Механики.
III группа по электробезопасности	- Электромонтёры. -Персонал обслуживающий станочное оборудование.

I группа присваивается после обучения лицом с III группой в виде устного опроса раз в год.

II группа проходит обучение в организации, если сотрудники имеют среднетехническое или высшее образование. Аттестацию проводит комиссия из пяти человек, члены комиссии должны иметь допуск по электробезопасности и аттестованные Ростехнадзором.

Если работник имеет только среднее образование, то обучение и присвоение группы по электробезопасности сторонней организацией.

III группа сотрудник, обязан знать специальные требования электробезопасности, которые предъявляются к ряду определенных работ, и в том числе контролировать обслуживание электроустановки.

Электротехнологический и электротехнический персонал проходит:

- все виды инструктажей,
- стажировку на рабочем месте,
- обучение,
- дублирование,
- различные виды тренировок, в зависимости от деятельности организации,
- проверку норм и правил по охране труда (ПТЭ, ПОТ, ПУЭ).

Перечень мер на предприятии по уходу за электрооборудованием, [21]:

- визуальный осмотр, до подачи электрического напряжения;
- выявление повреждения электрической проводки, розеток, вилок, кнопок включения - выключения. Проверять затяжку винтовых, болтовых соединений проводников. Состояние зануления, заземления, защитных автоматов;
- периодические испытания. Непрерывность проводников, замеры сопротивления изоляции, испытания на эффективность отключения нагрузки защитными автоматами.

2. Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение твердых, жидких, объектов на работающего

На вибрационный стол монтируется опалубочная форма, заполненная вязким составом из гранитного щебня и песка перемешанного с эпоксидной смолой. Вес заполненной опалубочной формы может составлять 400 кг.

Падение любых твердых и сыпучих предметов с высоты 740 мм, может повлечь ушибы и даже переломы костей нижних конечностей.

Решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов на работающих - работники проходят инструктаж по оказанию первой медицинской помощи при травмах и ушибах на рабочем месте:

- работать только на исправном вибростенде и только исправным инструментом;
- жёстко закреплять опалубочную форму с помощью болтового соединения к вибрационному столу;

- приспособление с модулем к столу вибростенда крепить на все болтовые крепления;

- запрещается производить снятие, установку, замену деталей (модулей), с вибрационного стола, при включенном, находящемся под напряжением вибростенде;

- при уходе с рабочего места, при отключении электричества отключить от сети вибростенд, оставлять рабочее место с включенными приборами, вибростенда запрещается.

3. Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы), подвижные части производственного оборудования, передвигающиеся изделия, заготовки, материалы.

Источник возникновения фактора на анализируемом рабочем месте:

- Бетономешалка, вращающаяся емкость для смешивания, электродвигатель с редуктором. Ножничный подъёмник для перемещение опалубочных форм массой до 400 кг. с рабочего места заливки на рабочее место с вибрационным столом. Вибрационный стол с микродвижениями при работе.

Возможные профессиональные заболевания или травмы, которые работник может получить в результате воздействия фактора:

- При воздействии на работников передвигающихся масс возможно получение ушибов, сдавленных травм и даже переломов. Подвижные части оборудования способны захватить за части тела работника, зажать и даже оторвать.

Допустимые нормы по [47].

Конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях

эксплуатации и монтажа (демонтажа). Если из-за формы производственного оборудования, распределения масс отдельных его частей и (или) условий монтажа (демонтажа) не может быть достигнута необходимая устойчивость, то должны быть предусмотрены средства и методы закрепления, о чем эксплуатационная документация должна содержать соответствующие требования.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего.

Находящихся вне поля видимости оператора, должны быть установлены органы управления аварийным остановом (торможением), если в опасной зоне, создаваемой движущимися частями, могут находиться работающие.

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

Средства защиты должны выполнять свое назначение непрерывно в процессе функционирования производственного оборудования или при возникновении опасной ситуации.

Действие средств защиты не должно прекращаться раньше, чем закончится действие соответствующего опасного или вредного производственного фактора.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования

производственного оборудования и (или) выключения после окончания его функционирования, должно иметь устройства, обеспечивающие такую последовательность.

Части производственного оборудования, представляющие опасность, должны быть окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности в соответствии с действующими стандартами.

Разрабатываются решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов на работающих.

Бетономешалка, ножничный гидравлический подъёмник для перемещения опалубочной формы, вибрационный стол должны быть надёжно закреплены к полу анкерами.

Бетономешалка, с трёх сторон ограждается забором высотой 1,8 м. в рамке из профильной трубы 30x30 мм из проволокой сетки 3 мм и ячейкой 25x25 мм.

Подвижные части оборудования окрашиваем в жёлтый цвет.

Кнопки останова механизмов размещаем в зоне возможного нахождения работников.

Рабочие места оснастить световой сигнализацией (столбиком светофором).

Ножничный подъемник, для перемещения опалубочной формы на вибрационный стол, оборудован роликами и ограждением, с высотой реборды 50 мм

Вибрационный стол установить датчик виброускорения. При превышении определённого значения, в результате раскрепления опалубочной формы, происходит автоматическая остановка процесса.

Все острые углы и кромки оборудования и ограждения притуплены, заусенцы зачищены.

Вредные факторы

1. Микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего

Источник возникновения фактора изменение температуры снаружи и внутри помещения, влажности, солнечное излучение наличие или отсутствие отопления, сквозняки.

Возможные профессиональные заболевания или травмы, которые работник может получить в результате воздействия фактора;

Это простудные грибковые заболевания нарушение защитных свойств кожного покрова,

Оптимальные показатели, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура ограждающих поверхностей и оборудования;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Величины показателей назначаются в соответствии с категорией работы на рабочем месте, таблица П1.1 [26].

Таблица 6 - Категории работ на основе общих энергозатрат организма

Категории работ	Энерготраты, Вт	Характер работ, примеры видов работ и профессий
III	290	Работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок машиностроительных и металлургических

		предприятий и тому подобное)
--	--	------------------------------

Из СанПиН [27]

Таблица 5 - оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	III (более 290)	16 - 28	15 - 19	60 - 40	0,3
Тёплый	III (более 290)	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

Решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов.

В помещениях с большой плотностью рабочих мест, при отсутствии источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыделения, участки измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха должны распределяться равномерно по площади помещения в соответствии с таблицей 2, [27].

Таблица 7 – минимальное количество участков измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

Площадь помещения, м ²	Количество участков измерения
До 100 м ²	4
От 100 до 400 м ²	8

Наше производственное помещение площадью 120 м², измерения будем проводить в восьми точках. При работах, выполняемых стоя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,5 м, а относительную влажность воздуха - на высоте 1,5 м.

Для регулировки показателей микроклимата предусмотрены следующие мероприятия: Затенение окон с юго-восточной стороны с помощью жалюзи, штор, оборудование батарей отопления вентилями с автоматической поддержанием заданной температуры. На рабочем месте смонтировать приточно-вытяжную вентиляцию, с подготовкой и регулировкой производительности подаваемого и выбрасываемого воздуха

2. производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся - повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума

Источник повышенного шума на рабочем месте является вибраторы электромеханические. Продолжительность воздействия повышенного шума по 10 минут за два часа в смену.

Возможные профессиональные заболевания или травмы, которые работник может получить в результате воздействия повышенного уровня шума.

Длительное воздействие шума, уровень которого превышает допустимые значения, может привести к профессиональному заболеванию - шумовой болезни (нейросенсорной тугоухости).

Работники в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головную боль, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, нарушение сна.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в таблица 3. Количественную оценку тяжести и напряженности трудового процесса следует проводить в соответствии [26] . Напряжённость труда легкой и средней степени, тяжесть трудового процесса – легкая и средняя физическая нагрузка.

Из таблицы 3 Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах - 80 дБА [29].

Таблица 8 - Эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий напряжённости и тяжести, дБА

Предельно допустимые эквивалентные уровни звука, дБА			
Категория напряжённости трудового процесса	Категории тяжести трудового процесса		
	Легкая и средняя физическая нагрузка	Тяжёлый труд 1 степени	Тяжёлый труд 2 степени
Напряжённость лёгкой и средней степени	80	75	75

Рекомендуемые средства индивидуальной защиты работников от повышенного шума [51]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши (беруши), перекрывающие наружный слуховой проход.

3. Производственные факторы, связанные со световой средой:

- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;
- отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения.

Источник возникновения фактора недостаточная площадь оконных проёмов, неравномерное распределение общего освещения и отсутствие или недостаток местного.

Возможные профессиональные заболевания или травмы, которые работник может получить в результате воздействия фактора;

отсутствие или недостаток естественного освещения приводит к нарушению суточного циркадного фотопериодизма в обмене веществ, в выделении гормонов сна и бодрствования, в уровне активности мозга и других функциях организма каждого человека.

Перенапряжение зрительных мышц приводит к потере остроты зрения, развитию близорукости и дальнозоркости.

Приведение допустимых норм с необходимой размерностью, а также при возможности проводится сравнительный анализ фактических значений факторов на соответствие нормативным значениям;

Естественное освещение производственных помещений нормируется величиной КЕО в зависимости от характера зрительной работы (разряда зрительной работы) и вида освещения.

Расчет естественного освещения в производственном помещении заключается в определении требуемой площади боковых проемов окон [30], которая бы обеспечивала нормативную освещенность (величину КЕО) для выполнения определенного разряда зрительной работы

Разрабатываются решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов.

Организация постоянных рабочих мест без естественного освещения, если это не определяется требованиями технологии, запрещается. Световые проемы не допускается загромождать производственным оборудованием, готовыми изделиями, полуфабрикатами и т.п. как внутри, так и вне зданий.

Расчёт искусственного общего освещения.

1. Из [30] таблица 4.1 в помещении промышленного предприятия выбираем разряд зрительной работы - IV подразряд зрительной работы – б, контраст объекта с фоном – малый, характеристика фона – светлый, освещённость при системе общего освещения 300 лк.

2. Вычисляем уровень светового потока [18], лм:

$X=A \cdot S \cdot H$, где

A – 300, установленная норма освещённости для помещения, лм;

S – 120, площадь помещения, м²;

H – высота потолков в помещении, м;

$H=1$, если высота потолка H до 2,7 м;

$H=1,5$, если высота потолка H до 3,5 м;

$H=2$, если высота потолка H до 4 м;

$X=300 \cdot 120 \cdot 1,5 = 54\,000$ лк.

Выбираем светодиодные светильники для промышленных помещений.

Таблица 9 - Характеристики светодиодного светильника

Diora angar glass (37/5600)		
Мощность, Вт	Световой поток F, лм	Высота подвеса $h_{\text{под}}$, м
37	5600	0,5

3. Рассчитаем, грубо, количество светильников для помещения.

$n = \frac{X}{F} = 54000/5600 = 9.6$ шт., для нашего помещения будет

достаточно десяти светильников (грубая оценка).

4. Рассчитаем количество светильников по площади, с поправочным коэффициентом.

Для начала необходимо вычислить уровень освещённости поверхности по формуле:

$E = \eta \cdot F/S$ (лк) , где

F – попадающий на поверхность световой поток, лк;

S – площадь поверхности, м²;

η – поправочный коэффициент (до поверхности доходит лишь часть света, а часть рассеивается по пути).

Для нахождения F , вычисляем коэффициент помещения:

$i = S/(D+B) \cdot h$, где

S – 120, площадь помещения, м²;

D – 12, длина помещения, м;

B – 10, ширина помещения, м;

h - расстояние от светильника до рабочего места, м.

$h = H - h_{\text{под}} - h_{\text{рм}}$, где

H – 3, высота потолка, м;

$h_{\text{под}}$ – 0,5, расстояние подвеса светильника от потолка, м;

$h_{\text{рм}}$ - 0,9, высота рабочего места, м;

$h = 3 - 0,5 - 0,9 = 1,6$ (м).

Коэффициент помещения будет:

$i = 120/(12+10) \cdot 1,6 = 3,4$

Из таблицы 10 находим коэффициент использования светового потока

$(\eta) = 69,6\%$

Таблица 10 - коэффициент использования светового потока

Индекс помещения i	Коэффициент использования светового потока, %
0,5	26
0,6	30
0,7	34
0,8	38
0,9	40
1	43
1,1	46
1,25	48
1,5	54
1,75	57
2	60
2,25	62
2,5	64
3	68
3,5	70
4	72
5	75

$$E = \eta \cdot F / S$$

коэффициент использования

Вычисляем уровень освещённости m^2 :

$$E = 0.696 \cdot 5600 / 120 = 32.48 \text{ (лк)}$$

Норма освещённости для нашего производства 300 (лк)

Количество светильников находим по формуле:

$$n = 300 / 32.48 = 9.23 \text{ (шт)}$$

округляем до десяти светильников. В первом и во втором виде расчётов количество светильников совпало.

Размещать светильники в два ряда по пять штук в ряду.

4. производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека:

- через органы дыхания (ингаляционный путь);
- через кожные покровы и слизистые оболочки (кожный путь).

Источник возникновения фактора. На вибрационном столе уплотняется и дегазируется смесь гранитного щебня, песка и эпоксидной смолы. Эпоксидная смола ЭД-20 не взрывоопасна, но горит при внесении в источник огня. Летучие компоненты (толуол и эпихлоргидрин) входящие в ее состав по степени воздействия на организм человека относятся к веществам 2-го класса опасности. параметры эпоксидной смолы ЭД-20
Наименование показателя Норма по [32] Высший сорт Первый сорт Внешний вид - вязкая прозрачная.

Возможные профессиональные заболевания или травмы, которые работник может получить в результате воздействия фактора;

Эпоксидно-диановая смола оказывает раздражающее и сенсibiliзирующее действие, что вызывает у работающих профессиональные дерматиты. При вдыхании паров эпоксидной смолы можно получить интоксикацию организма, которое может привести к аллергической реакции, повышению артериального давления, выпадению волос и длительному периоду детоксикации.

Приведение допустимых норм с необходимой размерностью, а также при возможности проводится сравнительный анализ фактических значений факторов на соответствие нормативным значениям;

Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны производственных помещений - по гигиеническим нормативам [33], и в класс опасности - по гигиеническим нормативам [33], а также действие на

организм человека вредных веществ, выделяющихся при производстве и применении эпоксиднодиановых смол приведены в таблице 5, [32].

1. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
2. ПРИКАЗ от 22 мая 2017 г. N 242 Об утверждении федерального классификационного каталога отходов.

Таблица 11 - ПДК вредных веществ эпоксидной смолы

Наименование вредного вещества	ПДК, мг/м ³		Класс опасности	
	В воздухе рабочей зоны	В атмосферном воздухе		
Эпоксидная смола (контроль по эпихлоргидрину)	2/1	0,005 (для эпихлоргидрина)	2	Эпихлоргидрин обладает резко выраженными раздражающими, сенсibiliзирующими и аллергенными свойствами, легко проникает через неповрежденную кожу и вызывает острое и хроническое отравление эпихлоргидрин относится к канцерогеноопасным веществам
Толуол	150/50	0,6	3	Пары толуола (метилбензола) в концентрациях, превышающих ПДК, обладают наркотическим действием, действуют на центральную нервную систему, кровь и кроветворные органы, оказывают раздражающее действие на кожу. При длительном воздействии толуол (метилбензол) вызывает раздражение слизистых

				оболочек глаз, верхних дыхательных путей, головокружение
--	--	--	--	--

Решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов на работающих.

Участок работы с эпоксидными смолами оборудован приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающая концентрацию ПДК в воздухе не более указанной в таблице 5.

Производственный персонал должен быть обеспечен спецодеждой и индивидуальными средствами защиты в соответствии с ГОСТ 12.4.011.

Для защиты органов дыхания и зрения производственный персонал должен использовать индивидуальные средства защиты - фильтрующий противогаз марки А или БФК по ГОСТ 12.4.121 и очки по ГОСТ 12.4.253.

В случае попадания эпоксидной смолы, компаунда, компонентов сырья на кожу их следует немедленно удалить фильтровальной бумагой или ватным (марлевым) тампоном, смоченным 5%-ным содовым раствором с последующим смыванием теплой водой с мылом. Для мытья рук следует применять мыло МДМ, рецептура приготовления которого приведена в приложении.

Запрещается применять для мытья рук ацетон и другие органические растворители, так как они способствуют проникновению смол и отвердителей через кожу, а также сами могут оказывать токсическое действие.

К работе с эпоксидными смолами допускаются лица не моложе 18 лет. Во время работы со смолой не пить, не курить и не принимать пищу.

Производственный персонал, занятый на участке с эпоксидными смолами, должен проходить предварительный, при поступлении на работу, и периодические медицинские осмотры.

Электрооборудование и освещение должно быть во взрывобезопасном исполнении, оборудование и трубопроводы заземлены.

В производственных помещениях должна быть предусмотрена герметизация оборудования в процессе слива и налива. При сливах и налива защита от статического электричества - по ГОСТ 12.1.18, ГОСТ 12.1.045 ГОСТ 12.4.124.

Утилизация отходов по санитарным нормам и правилам [34].
Временное хранение в плотно закрытых металлических или пластмассовых ёмкостях.

Производственные помещения должны быть оборудованы механической приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны, не превышающую ПДК согласно гигиеническим нормативам [33]. Система вентиляции производственных, складских и вспомогательных помещений должна отвечать требованиям ГОСТ 12.4.021.

5. Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха

Источник возникновения фактора на анализируемом рабочем месте - при загрузке в бетономешалку фракций гранита из бумажных мешков, образуется пыль неорганического происхождения.

Возможные профессиональные заболевания или травмы, которые работник может получить в результате воздействия фактора.

Гранитная пыль образуется микроскопическая (0,25-10 мкм), негорючая. содержит двуокись кремния — SiO₂.

Чрезмерное воздействие может привести к развитию таких заболеваний, как силикоз легких, бронхит, рак. Загрязнитель оседает в легких, уменьшая их объем.

Предельно допустимая концентрация из [33] указано в таблице 12.

Таблица 12 - Предельно-допустимые концентрации (ПДК) пыли вредных веществ в воздухе рабочей зоны

№	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
1179	Кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли от 10 до 70% (например: гранит, шамот, слюда-сырец, углеродная пыль) (Гранит)	SiO ₂	6/2	а	3	Ф

"Ф" - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия;

Контроль ПДК пыли в воздухе рабочей зоны проводим весовым методом.

4) разрабатываются решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов на работающих (средства коллективной и индивидуальной защиты). Также предлагаются мероприятия, обеспечивающие безопасность технологического процесса и эксплуатации оборудования.

а) инженерно - технические мероприятия:

- разработка оптимальных объемно-планировочных работ;

- рациональное размещение оборудования.

в) м е д и к о - п р о ф и л а к т и ч е с к и е м е р о п р и я т и я :

- средства индивидуальной защиты (средства защиты органов дыхания, зрения и кожи):

1) респираторы (маска со специальными противопыльными фильтрами) [48,49];

5) защитные дерматологические средства (пасты и мази);

6) противопыльные очки;

7) спецодежда из пыленепроницаемой ткани и спецобувь.

- средства коллективной защиты:

Вентиляция служит для поддержания регулируемого воздухообмена в производственных помещениях. В ГОСТ [50] регламентируются правила организации и эксплуатации систем вентиляции.

В е н т и л я ц и я – это технологический организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения воздуха, загрязненного вредностями (избыточным теплом, влагой, вредными веществами) с последующей подачей на его место свежего.

3.4 Экологическая безопасность

Защита селитебной зоны.

КЛАСС IV - санитарно-защитная зона 100 м [38] - Машиностроительные предприятия с металлообработкой, покраской без литья.

В технологии производства станин для станков ЧПУ используется эпоксидная смола. В процессе приготовления смеси и отверждения готовых деталей выделяются вредные вещества: эпихлоргидрин и толуол. Рабочие места, связанные с жидкой эпоксидной смолой оборудованы принудительной вентиляцией. Удаляемый воздух из производственного помещения выбрасывается наружу, смешиваясь с атмосферным воздухом до безопасных концентраций. В месяц используется 200 кг эпоксидной смолы, в неделю 50 кг. содержание летучих веществ в ЭС отечественного производства, согласно ГОСТу 10587-93, колеблется в пределах 0,5–0,8% , это примерно 0,4 кг или 400 000 мг на одну станину в неделю, ПДК на рабочем месте 1 мг/м³ (таблица 5), производительность вытяжной вентиляции: 400 000 мг/1мг/м³ = 400 000 м³ , время отверждения эпоксидной смолы 72 часа (все летучие вещества покидают изделие), часовая производительность вытяжной установки:

$$400\,000\text{м}^3/72\text{часа} = 5600\text{ м}^3/\text{час}$$

Перемешиваясь с атмосферой воздуха ПДК уменьшается в несколько раз, для нашего производства не требуется санитарно-защитной зоны связанной с применением эпоксидных смол.

Защита гидросферы.

На предприятии не используется вода в технологии. Загрязнение гидросферы производим бытовыми отходами, которые поступают на городские очистные сооружения.

Защита литосферы

В России все вопросы, касающиеся уничтожения сырья и отходов, регламентирует ФЗ - «Об отходах после потребления и производства» (редакция, действующая с 1 марта 2022 года). Согласно нормам права, всем отходам присваивается свой класс опасности:

- I класс: очень опасные
- II класс: высокая опасность
- III класс: умеренная опасность
- IV класс: низкая опасность
- V класс: неопасные

Предприятия, имеющие дело с отходами, принадлежащими I-IV категории, по закону должны обладать специальной лицензией. А вот прием отбросов повышенной категории риска (I-III уровень) разрешается проводить только в спецпунктах. Малоопасные и неопасные можно утилизировать как обычный мусор (кроме промотходов IV класса).

Уровень опасности ламп освещения (как и остальных отходов) определяется согласно ФККО (Федеральный Классификационный Каталог Отходов), [39].

На любом производстве, а наше не исключение, образуются твердые бытовые отходы. На предприятии ожидаются такие отходы:

- Остатки отвержденной эпоксидной смолы [34] перемешенной с гранитным щебнем. Код ФККО 4 19 171 11 29 3 - отходы компаундов на

основе эпоксидных смол затвердевшие. 3 класс опасности отходов называется умеренно-опасным. По характеру взаимодействия с экологической системой он отличается средней степенью вредного влияния. Уровень негативного воздействия опасных отходов на здоровье людей, флору, фауну, почву, воды и атмосферу зависит от их токсичности. Если мусор с токсичными компонентами будет размещен на несанкционированной свалке, он негативно отразится на экологической обстановке. Может произойти загрязнение воздуха, грунтовых и поверхностных вод, почвы, снижение видового разнообразия флоры и фауны. Предполагаемое место утилизации – дорожное строительство, асфальто-гравийные смеси.

- Металлолом. Код ФККО 4 61 010 01 20 5.

Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные. Класс опасности 5 (не опасные).

Утилизация на пунктах приёма металлолома.

- Лампы освещения газоразрядные или светодиодные Код ФККО 48241501524.

Светодиодные лампы принадлежат к IV классу опасности и считаются малоопасными отходами. Поэтому для частных (физических) лиц их разрешается выбрасывать в обычные контейнеры для мусора. Для организаций и ИП, то по закону при утилизации отходов необходимо соблюдение правил:

- на отходы оформляется специальный паспорт;
- все отходы предварительно сортируются по виду материала;
- светодиодная лампа также разбирается на отдельные составляющие части (металлические, пластиковые и стеклянные).

Делать это разрешается своими силами, лицензии на утилизацию отходов IV класса не требуется.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На нашем производстве возможны такие техногенные чрезвычайные ситуации:

- пожар,
- разлив АХОВ (аварийно химически опасные вещества).

Категория производственного помещения по взрывопожарной и пожарной опасности подбираем из [40].

Расчёт пожарной нагрузке [41] ведём по эпоксидной смоле ЭД-20. пожарная нагрузка Q , МДж, определяется по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ni}^p,$$

$G_i = 150$ кг - масса эпоксидной смолы на участке;

$Q_{ni}^p = 35$ МДж/кг - низшая теплота сгорания эпоксидной смолы ЭД-20;

$Q = 5250$ МДж - пожарная нагрузка.

Рассчитаем удельную пожарную нагрузку по формуле:

$$g = \frac{Q}{S},$$

$S = 30 \text{ м}^2$ - площадь участка, связанная с жидкой эпоксидной смолой;

$$g = 5250/30 = 175 \text{ МДж/м}^2$$

Из таблицы Б.1 категория помещения В-1.

Классификация возможного пожара [42] - пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов (В).

Способы защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара:

- 1) применение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара за пределы очага;
- 2) устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре;
- 3) устройство систем обнаружения пожара (установок и систем пожарной сигнализации), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре;
- 4) применение систем коллективной защиты (в том числе противодымной) и средств индивидуальной защиты людей от воздействия опасных факторов пожара;
- 5) применение огнезащитных составов (в том числе антипиренов и огнезащитных красок) и строительных материалов (облицовок) для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций;
- б) применение первичных средств пожаротушения.

Первичные средства пожаротушения:

Огнетушители - Переносные и передвижные огнетушители должны обеспечивать тушение пожара одним человеком на площади, указанной в технической документации организации-изготовителя

Порошковые – для тушения загораний легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (лаков, красок, пластмасс, электроустановок, находящихся под напряжением до 1000вольт;

Пожарные краны - Конструкция пожарных кранов должна обеспечивать возможность открывания запорного устройства одним человеком и подачи воды с интенсивностью, обеспечивающей тушение пожара

Пожарные шкафы - Пожарные шкафы и многофункциональные интегрированные пожарные шкафы должны обеспечивать размещение и хранение в них первичных средств пожаротушения. . Конструкция пожарных шкафов и многофункциональных интегрированных пожарных шкафов

должна позволять быстро и безопасно использовать находящееся в них оборудование.

Типичные чрезвычайные ситуации на нашем производстве:

- техногенного характера - пожар;
- антропогенного характера -разлив аварийно-химических опасных веществ АХОВ (эпоксидной смолы).

При локальных авариях (утечка, пролив или россыпь; токсичного вещества) глубина распространения зон загрязнения и поражения не выходит за пределы производственного помещения или территории объекта. В этом случае в зону поражения попадает, как правило, только персонал.

На участке эпоксидных станин возможна чрезвычайная ситуация IV типа [30].

ЧС с химической обстановкой четвертого типа возникает при аварийном выбросе (проливе) значительного количества малолетучих АХОВ (жидких, с температурой кипения значительно выше температуры окружающей среды, или твердых —эпоксидная смола [44]

Действия при возникновении ЧС IV:

- 1) задействовать звуковой и световой оповещатель о эвакуации;
- 2) одеть, если отсутствуют, индивидуальные средства защиты. фильтрующий противогаз марки А или БФК по ГОСТ 12.4.121 и очки по ГОСТ 12.4.253;
- 3) эвакуировать производственный персонал;
- 4) оповестить о чрезвычайной ситуации начальство;
- 5) приступить к ликвидации пролива эпоксидной смолы.

3.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе.

Категория помещения по электробезопасности согласно [45] соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности».

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I, II и III группой допуска по электробезопасности.

Категория тяжести труда на производстве относится к категории III (Работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий) [38].

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности группы В-1, возможный класс пожара В. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы.

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории [46].

Защитная селитебная зона 100 м, для машиностроительных предприятий, связанных с механической обработкой металла, покраской без литья.

Заключение

Итог проделанной работы. Было собрано и изучено большое количество информационных источников из интернета. Для анализа был выбран станок с ЧПУ FS3MG -2.0 у которого базовые детали станины изготовлены из синтеграна.

По рекламным характеристикам этого станка в программе ptc Mathcad, были выполнены расчёты и по каталогам подобраны комплектующие. В САД программе Компас 3D сконструирована 3D модель станка, с полной детализацией.

Для изучения поведения модели станка под нагрузкой, была использована программная система анализа методом конечных элементов Ansys 21R1.

На первом этапе, для возможности моделирования, 3D модель была упрощена: - убраны отверстия, фаски, серводвигатели а ШВП, линейные подшипники и мотор шпиндель заменены на эквиваленты, с теми же прочностными характеристиками.

На втором этапе проводилось статическое нагружение модели станка, имитирующее фрезерование на максимальных силах резания. Моделирование нагрузки, неожиданно, показало низкую жёсткость оси Z. В дальнейшем рекомендовано переработать конструкцию и заменить комплектующие на более жесткие.

На третьем этапе проведён модальный анализ. Были определены заметные формы мод, составлена таблица.

На четвёртом, заключительном этапе, проведён гармонический анализ конструкции станка, по данным модального анализа. Приложенная сила резания, изменяющаяся по синусоидальному закону, не спровоцировала

резонансных явлений. Что может свидетельствовать о хорошей демпфирующей способности станины станка, изготовленной из синтеграна.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» анализ возможности позаказного производства станин и станков, на рынке России, показал перспективность данной деятельности.

Результат написания раздела «Социальная ответственность» - эпоксидная смола, использованная в качестве связующего, в смеси синтеграна, имеет токсичные испарения, и необходимо строго соблюдать меры индивидуальной и коллективной защиты от воздействия этого опасного фактора.

4.Список используемых источников

1. www.cnc-technik-mueller.de: Müller CNC-Technik.
2. <https://www.youtube.com/watch?v=IUaC0LmzDbc&list=PLOqqUn9nnXaCkpeZlXgP8R5BPinz1qytO&index=2>: Mineralguss CNC Fräsmaschine FS3MG.
3. <https://www.ansys.com/academic/educators/education-resources/chart-loss-coefficient-vs-youngs-modulus1>
4. http://galika.ru/wp-content/uploads/2018/02/S121_S131_S141_RADIEN_RU270218. PDF
5. Статья. Современные шлифовальные станки. Особенности конструкции (часть 2). Ермолаев В.К.
6. 1. http://www.enims.chat.ru/s2_4.html
7. http://www.vzfs.ru/useful/osobennosti_primeneniya_sintegrana/
8. <https://www.durcrete.com/references-machines>
9. Макаров Д. А. INTERNATIONAL RESEARCH FORUM - 2023
10. Каталог 2012, Режущие инструменты от Sandvik Coromat. Вращающиеся инструменты.
11. <https://fullingmotor.com/EN/>
12. https://eshop.ntn-snr.com/en/product/7008UADG_GNP42-NTN/7008UADG-GNP42
13. https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VIG/study/St2/MU_bakalavr.pdf
14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ — Редакция от 19.12.2022
15. Федеральный закон о трудовых пенсиях в Российской Федерации. от 17.12.2001 №173-ФЗ Редакция от 08.12.2020 №429-ФЗ

16. Рабочее место при выполнении работ в положении стоя - ГОСТ 12.2.033-78.
17. Приказ Министерства труда РФ от 27.11.2020 №833 Об утверждении правил по охране труда при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования.
18. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
19. М.Ф. Яблонский, А.А. Буйнов Судебно-медицинская экспертиза повреждений, вызванных действием электричества. Учебное пособие, Витебск 2017.
20. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования.
21. ГОСТ Р 50571.16-2019 Электроустановки низковольтные. Часть 6.
22. ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность общие требования и номенклатура защиты
23. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
24. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
25. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах".
26. Р 2.2.755-99 «Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса».

27. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
28. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
29. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
30. СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
31. Методическое пособие проектирование искусственного освещения общественных и жилых зданий. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Москва 2016.
32. ГОСТ Р 56211— 2014 Смолы эпоксидно-диановые не отверждённые.
33. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 13.02.2018 N 25 Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
34. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления СанПиН 2.1.7.1322-03
35. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах"
36. ГОСТ 12.3.002-14 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. (с поправкой).

37. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
38. 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" (Зарегистрировано в Минюсте России 39.01.2008 N 10995).
40. Приказ от 22 мая 2017 г. N 242 Об утверждении федерального классификационного каталога отходов.
41. СП 149 12.13130.2009, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
42. Расчёт критериев взрывопожарной и пожарной опасности производственных помещений. Критериев взрывопожарной и пожарной опасности производственных помещений. А.Г. Овчаренко, В.В. Смирнов, г.Бийск, издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 2019 г.
- 43.ФЗ №123 от 22.07.2008 («Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»).
44. Постановлением Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенно-го характера» (в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 17 мая 2011 г. № 376
45. ГОСТ Р 22.8.05-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательные работы при ликвидации последствий аварий на химически опасных объектах
46. Министерство энергетики Российской Федерации. Приказ от 8 июля 2002 г. N 204 Об утверждении глав правил устройства электроустановок.

47. Правительство Российской Федерации постановление от 31 декабря 2020 г. N 2398 об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категории.

48. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общее требование безопасности.

49.ГОСТ 12.4.034-85 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка»;

50.ГОСТ 12.4.041-2001 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования»

51. ГОСТ 12.4.021-75 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные.

52. ГОСТ Р 12.4.208-99 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Наушники. Общие технические требования.

Приложение А

Приложение А

Раздел на иностранном языке

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Плотер Андрей Адольфович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Дмитрий Петрович	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Тайдонова Светлана Сергеевна	к.ф.н.		
Доцент	Полякова Наталья Владимировна	к.ф.н., доцент		

Social responsibility

Introduction

The "Social Responsibility" section is aimed at developing design solutions to prevent emergencies in production and to reduce the impact of waste of various hazard classes on the environment.

The topic of my graduation qualification work is a portal-type CNC machine with syntegran elements.

(Syntegran or polymer concrete – synthetic granite – is used for the manufacture of tools, special equipment, critical parts of measuring complexes, high-precision and special machines (the processing accuracy of which is 0.001 microns).

It is required to conduct research work on the development of the technology of casting from polymer concrete (syntegran) parts of the CNC machine bed and production of basing surfaces, assembly of components (rail guides, ball screw gears, servo drivers, motor spindle, etc.).

Scope of application is mechanical engineering.

Users of the developed solution are medium and small enterprises, engineering educational institutions and individuals.

Research work will be carried out on the territory of the Tomsk Innovation Zone.

The relevance of the work is connected with the new iron curtain established by Western countries for our country.

In addition to import substitution of similar products, graduates of Tomsk Polytechnic University will be able to grow professionally.

Description of the workplace (working area): Working area is 10x12 m. A 0.25 m³ concrete mixer, a vibrating table, assembly tables 2x1m – 2 pcs., a floor

drilling machine, a manual locksmith, a measuring tool in the assortment are installed there.

Work processes related to the object of research:

- granite crushed stone, of various fractions, is mixed in a concrete mixer with epoxy resin;
- the prepared mixture is poured into a formwork mold for the frame parts and compacted on a vibrating table;
- after the mixture has solidified, the frame parts are removed from the formwork mold;
- we form the basing surfaces for standard components;
- at the last stage, we assemble and adjust the machine.

Legal and organizational issues of security

According to labor legislation:

Working hours

The working time is 40 hours per week. The duration of daily work (shift) is 8 hours. The duration of the working week is five days with two days off. There is one-hour break nooning during the working day (shift). It is not included during working hours. Annual leave – 28 calendar days, priority in accordance with the vacation schedule, the schedule is approved by the employer in accordance with the wishes of employees, no later than two weeks before the calendar year.

Protection of personal data

Protection of personal data from loss and misuse is provided by the employer. Employees get acquainted with the regulations on the procedure for processing personal data against signature. When transferring personal data, the employer is not to disclose personal data to a third party without the written

consent of the employee. An exception is when a transfer without consent warns of a threat to the life and health of an employee. Do not disclose personal data for commercial purposes without the written consent of the employee. Persons who have received the employee's personal data should be warned that this data can only be used for the purposes for which they are reported. Provide access to employee's personal data only to specially authorized persons. Employees of the organization have the right to full information about their personal data, free access, including the right to receive copies of any record containing the employee's personal data.

Persons guilty of violating the legislative provision of the laws of the Russian Federation in the field of personal data when processing employee's personal data are brought to disciplinary and material responsibility in accordance with the procedure established by this code and other federal laws, are also brought to civil, administrative and criminal liability in accordance with the procedure established by federal laws.

Payment for labour and labour norming

At the enterprise for employees is established an official salary - a fixed amount of remuneration for the performance of employment (official) duties of a certain complexity for a calendar month, excluding compensatory, incentive and social payments.

When paying wages, the employer is obliged to notify each employee in writing:

- 1) of the components of the salary due to him for the corresponding period;
- 2) of the amounts of other amounts accrued to the employee, including monetary compensation for violation by the employer of the established deadline, respectively, for payment of wages, vacation pay, dismissal compensation and other payments due to the employee;
- 3) of the amount and grounds of the made deductions;
- 4) of the total amount of money to be paid.

The form of the payroll is approved by the employer.

The salary is paid to the employee at the place of their work or transferred to the credit institution specified in the employee's application.

The salary is paid directly to the employee, except when another payment method is provided for by federal law or a contract of employment.

The daily average earnings for vacation payments and compensation for unused vacations are calculated for the last 12 calendar months by dividing the amount of accrued wages by 12 and by 29.3 (the average monthly number of calendar days).

Features of compulsory social insurance and pension services

According to Article 21 of the Labor Code of the Russian Federation, employees have the right to compulsory social insurance in cases provided for by federal laws. Compulsory social insurance includes temporary disability benefits, maternity benefits, child care benefits, various types of pensions, etc.

The insurer is the Social Insurance Fund of the Russian Federation. The policyholder is a legal or natural person who hires employees in the staff. The insured person is an individual working at the enterprise, on the basis of an employment contract concluded with the employer.

Labor pension is a monthly cash payment in order to compensate insured persons for wages and other payments and remuneration lost by them in connection with the onset of disability due to old age or disability.

The labor pension is paid out of pension savings which is formed at the expense of received insurance contributions to finance the funded part of the old-age labor pension, additional insurance contributions to the funded part of the labor pension, employer contributions paid in favor of the insured person, contributions to co-finance the formation of pension savings, income from their investment,

means of guaranteed compensation received by the Pension Fund of the Russian Federation.

When assigning a pension, the work experience during which insurance premiums were paid to the Pension Fund of the Russian Federation and the average monthly earnings are taken into account.

Men who have reached the age of 65 and women who have reached the age of 60 have the right to an old-age retirement pension since 2028. Now there is a transitional period of increasing the retirement age, in 2022 women should retire at 56.5 years, and men — at 61.5 years. A labor pension is awarded if there is at least five years of experience.

An old-age retirement pension may consist of an insurance and a funded part.

The amount of the insurance part of the old - age retirement pension is determined from the formula:

$$IP=PC/T+B$$

where,

IP is the insurance part of the old-age retirement pension,

PC – the amount of the estimated pension capital,

T – is the number of months of the expected payment of the old-age retirement pension 228,

B – is the fixed basic amount of the old-age retirement pension.

Ergonomic requirements for the workplace

Working places in the standing position are mixture preparation, pouring, vibrating table, drilling machine, and workbench. According to GOST 12.2.033-

78, it is necessary to provide a space for legs 150x150x530 mm depth, height and width for access to the table, workbench, and machine tool.

The height of the workplace is 895 mm, the category of work is heavy.

Workplaces for mixing granite crushed stone, pouring into formwork molds and a vibrating table, during operation of which harmful substances (dust, gases) are released, should be installed in isolated rooms equipped with general exchange supply and exhaust and local exhaust ventilation. When manufacturing sites with different sanitary and hygienic conditions are located in one production room, measures shall be provided to prevent the spread of harmful and (or) hazardous production factors to the production room.

The distances between the technological equipment, between the equipment and the walls, columns of the production premises should be set depending on the specific conditions of the production process and should be:

- not less than 0.6 m - for small equipment (with dimensions up to 1.5 x 1.0 m in plan);
- not less than 0.7 m - for medium-sized equipment (with dimensions up to 4.0 x 3.5 m in plan);
- the width of the main aisles along the service front and between the rows of technological equipment in the presence of permanent jobs should be at least 1.5 m.

Industrial safety

The list of dangerous and harmful factors characteristic of the designed production environment. The factors were written out from GOST 12.0.003-2015.

Analysis of hazardous and harmful production factors

Dangerous factors

1. Production factors related to the electric current caused by the difference in electrical potentials, under the action of which the worker falls

The source of the dangerous factor in the workplace is a hand-held power tool, a vibrating table, electric exhaust ventilation motors, hidden and open wiring, local and general lighting fixtures, carrying.

The actions of an electric current lead to two types of damage: electric injuries and electric shocks.

Electrical injuries are clearly expressed local damage to the tissues of the body caused by exposure to electric current or electric arc (electric burns, electric signs, skin metallization, and mechanical damage).

An electric shock is the excitation of living tissues of the body by an electric current passing through it, accompanied by an involuntary convulsive contraction of muscles.

There are four degrees of electric shocks:

degree I — convulsive muscle contraction without loss of consciousness;

degree II — convulsive muscle contraction with loss of consciousness, but with preserved breathing and heart function;

degree III — loss of consciousness and violation of cardiac activity or breathing (or both);

degree IV — clinical death, that is, lack of respiration and blood circulation;

The causes of death from electric shock can be cardiac arrest, cessation of breathing and electric shock.

In order to automatically turn off the supply of electrical voltage to the equipment, it is necessary to perform zeroing and also provide a protective potential equalization system, simple separation, non-conductive environment, is provided.

Note — The environment must have a total resistance with respect to the ground, not less than: 50 kilohm, if the rated voltage of the system does not exceed 500 V.

2. the action of gravity in cases where it can cause the fall of solid, liquid objects on the worker

A formwork form filled with a viscous composition of granite crushed stone and sand mixed with epoxy resin is installed on the vibrating table. The weight of the filled form can be 400 kg.

The fall of any hard and loose objects from a height of 740 mm can cause bruises and even fractures of the bones of the lower extremities.

Solutions to reduce the impact of identified dangerous and harmful factors on employees - employees are instructed to provide first aid for injuries and bruises at the workplace:

- work only on a serviceable vibration stand and only with a serviceable tool;
- rigidly fix the formwork by bolting to the vibrating table;
- attach the device with the module to the table of the vibration stand to all bolted fasteners;
- it is forbidden to remove, install, and replace parts (modules) from the vibrating table when the vibrating stand is switched on and under voltage;

- when leaving the workplace, when the power is disconnected, it is forbidden to disconnect the vibration stand from the network, leave the workplace with the devices on, the vibration stand is prohibited.

3. moving (including flying) solid objects that strike the body of the worker (including moving machines and mechanisms). Moving parts of production equipment; moving products, blanks, materials

The sources of the factor occurrence at the analyzed workplace are a concrete mixer, a rotating mixing vessel, an electric motor with a gearbox, a scissor lift for moving formwork forms weighing up to 400 kg from the casting workstation to the workstation with a vibrating table, a vibrating table with micro-movements during operation.

Possible occupational diseases or injuries that an employee may suffer as a result of exposure to the factor:

When workers are exposed to moving masses, it is possible to get bruises, compressed injuries and even fractures. Moving parts of the equipment are able to grab the parts of the employee's body, clamp and even tear off.

Harmful factors

1. Microclimatic parameters of the air environment at the location of the worker

The source of the factor is a change in temperature outside and inside the room, humidity, solar radiation, the presence or absence of heating, drafts.

Possible occupational diseases or injuries that an employee may suffer as a result of exposure to the factor: these are colds fungal diseases violation of the protective properties of the skin.

Optimal indicators characterizing the microclimate in industrial premises are:

- air temperature;

- temperature of enclosing surfaces and equipment;
- relative air humidity;
- air speed;
- the intensity of thermal irradiation.

Solutions that reduce the impact of identified dangerous and harmful factors.

In rooms with a high density of workplaces, in the absence of sources of local heat release, cooling or moisture release, the measurement areas of temperature, relative humidity and air velocity should be distributed evenly over the area of the room.

2. production factors related to acoustic fluctuations in the production environment and characterized by increased level and other unfavorable noise characteristics

The source of increased noise in the workplace is electromechanical vibrators. The duration of exposure to increased noise is 10 minutes per two hours per shift.

Possible occupational diseases or injuries that an employee may suffer as a result of exposure to increased noise levels:

- prolonged exposure to noise, the level of which exceeds the permissible values, can lead to a professional disease - noise disease (sensorineural hearing loss);
- workers in conditions of prolonged noise exposure experience irritability, headache, dizziness, memory loss, increased fatigue, decreased appetite, sleep disturbance.

Recommended personal protective equipment for workers from increased noise:

- anti-noise headphones that cover the auricle from the outside;
- anti-noise inserts (earplugs), blocking the external auditory canal.

3. production factors related to the light environment:

- absence or lack of necessary natural lighting;
- absence or disadvantages of the necessary artificial lighting.

The source of the factor is the insufficient area of window openings, uneven distribution of general lighting and the absence or lack of local lighting.

Possible occupational diseases or injuries that an employee may suffer as a result of exposure to the factor:

- the absence or lack of natural light leads to a violation of circadian photoperiodism in metabolism, in the release of sleep and wakefulness hormones, in the level of brain activity and other body functions of each person;
- overstrain of the visual muscles leads to loss of visual acuity, the development of myopia and long-sightedness.

Reduction of permissible norms with the necessary dimension, as well as, if possible, a comparative analysis of the actual values of factors for compliance with regulatory values is carried out.

Natural lighting of industrial premises is normalized by the KEO value depending on the nature of visual work (the category of visual work) and the type of lighting.

The calculation of natural lighting in the production room consists in determining the required area of the side openings of windows, which would

provide the standard illumination (KEO value) to perform a certain category of visual work.

Solutions are being developed to reduce the impact of identified dangerous and harmful factors.

4. production factors that have the properties of chemical effects on the body of a working person:

- through the respiratory organs (inhalation route);
- through the skin and mucous membranes (skin pathway).

The source of the factor. A mixture of granite crushed stone, sand and epoxy resin is compacted and degassed on the vibrating table. Epoxy resin ED-20 is not explosive, but burns when applied to a fire source. Volatile components (toluene and epichlorohydrin) included in its composition, according to the degree of exposure to the human body, belong to substances of the 2nd hazard class parameters of epoxy resin ED-20. The name of the indicator is the Norm according to the highest grade the first grade Appearance - viscous transparent.

Possible occupational diseases or injuries that an employee may suffer as a result of exposure to the factor:

- epoxy-diane resin has an irritating and sensitizing effect, which causes professional dermatitis. If you inhale the vapors of epoxy resin, you can get intoxication of the body, which can lead to an allergic reaction, increased blood pressure, hair loss and a long period of detoxification.

Reduction of permissible norms with the necessary dimension, as well as, if possible, a comparative analysis of the actual values of factors for compliance with regulatory values is carried out.

Solutions that reduce the impact of identified dangerous and harmful factors on workers:

- the area of work with epoxy resins is equipped with supply and exhaust ventilation, which ensures the concentration of MPC in the air no more than indicated in Table 5 GOST 56211.2014;
- production personnel must be provided with overalls and personal protective equipment in accordance with GOST 12.4.011;
- to protect the respiratory organs and vision, production personnel must use personal protective equipment - a filter gas mask of brand A or BFC according to GOST 12.4.121 and glasses according to GOST 12.4.253;
- in case of contact with epoxy resin, compound, raw materials components on the skin, they should be immediately removed with filter paper or a cotton (gauze) swab moistened with a 5% soda solution, followed by rinsing with warm water and soap. To wash your hands, you should use MDM soap.

5. Production factors associated with excessive air pollution in the breathing zone, with an abnormal physical condition of the air

The source of the occurrence of the factor in the analyzed workplace.

When granite fractions from paper bags are loaded into the concrete mixer, dust of inorganic origin is formed.

Possible occupational diseases or injuries that an employee may suffer as a result of exposure to the factor - granite dust is formed microscopic (0.25-10 microns), incombustible, contains silicon dioxide — SiO₂.

Personal protective equipment (respiratory, visual and skin protection):

- 1) respirators (mask with special dust filters);
- 2) protective dermatological agents (pastes and ointments);
- 3) dustproof glasses;
- 4) special clothing made of dusty fabric and special footwear.

Collective protective equipment:

Ventilation is used to maintain regulated air exchange in industrial premises. GOST 12.4.021-75 regulates the rules for the organization and operation of ventilation systems.

Ventilation is a technologically organized and regulated air exchange that ensures the removal of air contaminated with harmful substances (excessive heat, moisture, harmful substances) from the room, followed by fresh supply in its place.

Environmental safety

Protection of the residential area

CLASS IV - sanitary protection zone 100 m - Machine-building enterprises with metalworking, painting without casting.

Epoxy resin is used in the production technology of CNC machine tools. In the process of preparing the mixture and curing the finished parts, harmful substances are released: epichlorohydrin and toluene. Workplaces connected with liquid epoxy resin are equipped with forced ventilation. The removed air from the production room is released to the outside, mixing with atmospheric air to safe concentrations.

Mixing with the atmosphere of the air, the MPC decreases several times, our production does not require a sanitary protection zone associated with the use of epoxy resins.

Hydrosphere protection

The company does not use water in technology. Pollution of the hydrosphere is produced by household waste, which is supplied to urban wastewater treatment plants.

Lithosphere protection

In Russia, all issues related to the destruction of raw materials and waste are regulated by the Federal Law - "On Waste after Consumption and Production" (edition, effective from March 1, 2022). According to the norms of law, all waste is assigned its own hazard class:

- class I: very dangerous,
- class II: high hazard,
- class III: moderate hazard,
- class IV: low hazard,
- class V: non-hazardous.

Enterprises dealing with waste belonging to category I-IV, according to the law, must have a special license. But the reception of waste of the increased risk category (I-III level) is allowed to be carried out only in special points. Low-risk and non-hazardous ones can be disposed of as ordinary garbage (except for Class IV waste).

At any production solid household waste is generated. Such waste is expected at the enterprise:

- the remains of cured epoxy resin FCCO code 4 19 171 11 29;
- scrap metal. FCCO code 4 61 010 01 20 5;
- gas-discharge or LED lighting lamps FCKO code 48241501524.

Emergency safety

Such technogenic emergencies are possible in our production:

- fire,
- spill of AHS (emergency chemically hazardous substances).

Ways to protect people and property from the effects of fire hazards:

- 1) the use of space-planning solutions and means to limit the spread of fire beyond the hearth;
- 2) the device of escape routes that meet the requirements of safe evacuation of people in case of fire;
- 3) the device of fire detection systems (installations and fire alarm systems), notification and management of evacuation of people in case of fire;
- 4) the use of collective protection systems (including smoke protection) and personal protective equipment for people from exposure to fire hazards;
- 5) the use of flame retardants (including flame retardants and flame retardant paints) and building materials (linings) to increase the limits of fire resistance of building structures;
- 6) the use of primary fire extinguishing agents.

Primary fire extinguishing means:

- fire extinguishers - Portable and mobile fire extinguishers must ensure fire extinguishing by one person on the area specified in the technical documentation of the manufacturer;
- powder – for extinguishing fires of flammable and combustible liquids (varnishes, paints, plastics, electrical installations under voltage up to 1000 volts);
- fire cranes - The design of fire cranes should provide the possibility of opening the shut-off device by one person and supplying water with an intensity that ensures fire extinguishing;
- fire cabinets - Fire cabinets and multifunctional integrated fire cabinets must ensure the placement and storage of primary fire extinguishing

equipment in them. . The design of fire cabinets and multifunctional integrated fire cabinets should allow for quick and safe use of the equipment located in them.

Typical emergencies in our production:

- technogenic nature - fire;
- anthropogenic nature -spill of emergency chemical hazardous substances AHS (epoxy resin).

Actions in case of emergency IV:

- 1) activate the sound and light evacuation alert;
- 2) wear, if not available, personal protective equipment, filter gas mask grade A or BFC according to GOST 12.4.121 and glasses according to GOST 12.4.253;
- 3) evacuate production personnel;
- 4) notify the authorities about the emergency situation;
- 5) proceed to eliminate the epoxy resin spill.

Chapter Conclusion

The significance of all production factors at the workplace under study corresponds to the norms that have also been demonstrated in this section.

The category of electrical safety premises according to corresponds to the first class – "premises without increased danger".

According to the rules on labor protection during the operation of electrical installations, personnel must have I, II and III groups of electrical safety permits.

The category of severity of work in production belongs to category III (Work involving constant movement, movement and carrying of significant (over 10 kg) weights and requiring great physical effort).

Category of premises for explosion and fire hazard of group B-1, possible fire class B. Characteristics of substances and materials in the room: Flammable and difficult-to-burn liquids, solid flammable and difficult-to-burn substances and materials.

The considered object, which has a minor negative impact on the environment, belongs to the objects of the III category.

Protective residential area of 100 m, for machine-building enterprises related to metal machining, painting without casting.

Приложение Б

Приложение Б.

Выбор фрезы по материалу. Расчёт режимов резания. Подбор мотор-шпинделя

На станке планируются обрабатываться алюминиевые сплавы. Для фрезерования цветных металлов N, из каталога 2012 г. «Вращающиеся инструменты» компании Sandvik Coromant выбираем концевую фрезу CorollMill@Plura. Таблица "Концевая фреза для черновой и получистовой обработки" на странице D252, Цельная твердосплавная концевая фреза с возможностью сверления.

Фреза изготовлена из твёрдый сплава H10F без покрытия с очень острыми режущими кромками. Работа без охлаждения.

R216.32-10025-AK32A - фреза, эскиз рисунок 1.

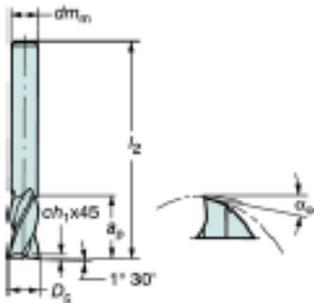


Рисунок 1 - Концевая фреза для черновой и получистовой обработки

- $z_n := 2$ - количество зубьев фрезы;
- $dm_n = 10$ - диаметр хвостовика фрезы, мм;
- $D_c = 10$ - диаметр режущей части фрезы, мм;
- $a_p = 32$ - максимальная глубина фрезерования, мм;
- $l_2 = 90$ - длина фрезы, мм;

Рекомендации по режимам резания, стр. D350. Для материала N (Алюминий):

- $v_c = 1000$ - скорость резания, м/мин;
- $f_z = 0.027$ - подача на зуб фрезы, мм/з;

Подставляя выбранные значения в формулу (1), определяем число оборотов шпинделя:

$$n := \frac{1000 \cdot v_e}{\pi \cdot D_c} \quad (1)$$

вычисленное значение:

$$n = 3.183 \cdot 10^4 \quad , \text{ об/мин};$$

Скорость подачи в минуту вычисляем по формуле (2):

$$v_f := n \cdot f_z \cdot z_n \quad (2)$$

вычисленное значение:

$$v_f = 1.719 \cdot 10^3 \quad , \text{ мм/мин};$$

Рассчитаем мощность фрезерования.

Выбираем сплав на основе алюминия твёрдостью 130 НВ, из каталога Sandvik Coromant, «Материалы», таблица Н31.

h_m – средняя толщина стружки, мм;

Рассчитывается по формуле:

$$h_m := \frac{180 \cdot \sin(k_r) \cdot a_e \cdot f_z}{\pi \cdot D_c \cdot \text{asin}\left(\frac{a_e}{D_c}\right)}$$

где,

$k_r = 90$ - главный угол в плане, град;

$D_c = 10$ - диаметр режущей части фрезы, мм;

$a_e = D_c \cdot 0.9 = 0.9$ - ширина фрезерования, мм;

$f_z = 0.027$ - подача на зуб фрезы, из таблицы инструмента, мм/з;

Вычисленное значение:

$$h_m = 1.1 \text{ мм};$$

Формула для расчёта удельной силы резания:

$$k_c := k_{c1} \cdot h_m^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

где,

$k_{c1} = 700$ - удельная сила резания при средней толщине стружки 0,1 мм, Н/мм²; $m_c = 0.25$ - коэффициент толщины стружки, из таблицы материалов;

$\gamma_0 = 0$ - передний угол зуба фрезы в плане, нет данных, град;

Вычисленное значение:

$$k_c = 681.7 \text{ Н/мм}^2;$$

Формула для расчёта потребляемой мощности:

$$P_c := \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6}$$

где

$a_e = D_c \cdot 0.9 = 0.9$ - ширина фрезерования, мм;

$a_p = 32$ - максимальная глубина фрезерования, мм;

$$v_f = 1.719 \cdot 10^3$$

скорость подачи станка, мм/мин;

$k_c = 681.7$ - удельная сила резания, Н/мм²;

вычисленное значение:

$$P_c = 5.625 \text{ кВт};$$

Рассчитаем крутящий момент шпинделя по формуле:

$$M_c := \frac{P_c \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot n}$$

Вычисленное значение:

$$M_c = 1.687 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Рассчитаем усилие резания по формуле:

$$F_c := \frac{2 \cdot 1000 M_c}{D_c}$$

Вычисленное значение:

$$F_c = 337.48 \text{ Н};$$

Выбираем мотор-шпиндель ES351 фирмы HSD s.p.a., данные представлены в таблице.

Таблица 1. Характеристики мотор-шпинделя ES351 HSD

ES351 HSD		
HSK E32/E40		
Power S1/S2	kW	6.5/7.5
Torque	Nm	5.2/6
Motor technology		Asynchronous
Rater voltage	V	220 or 380
Option encoder		LBI V _{pp} or TTL
Poles		4 poles
Front/Rear bearing		Ceramics or cronidur 30
Bearing lubrication		Grease
Max frequency	Hz	1200/1334
Max speed	rpm	36 000 (E40) 40 000 (E32)
Rated speed	rpm	12 000
Weight	kg	20
Cooling		Liquid

Включить <<

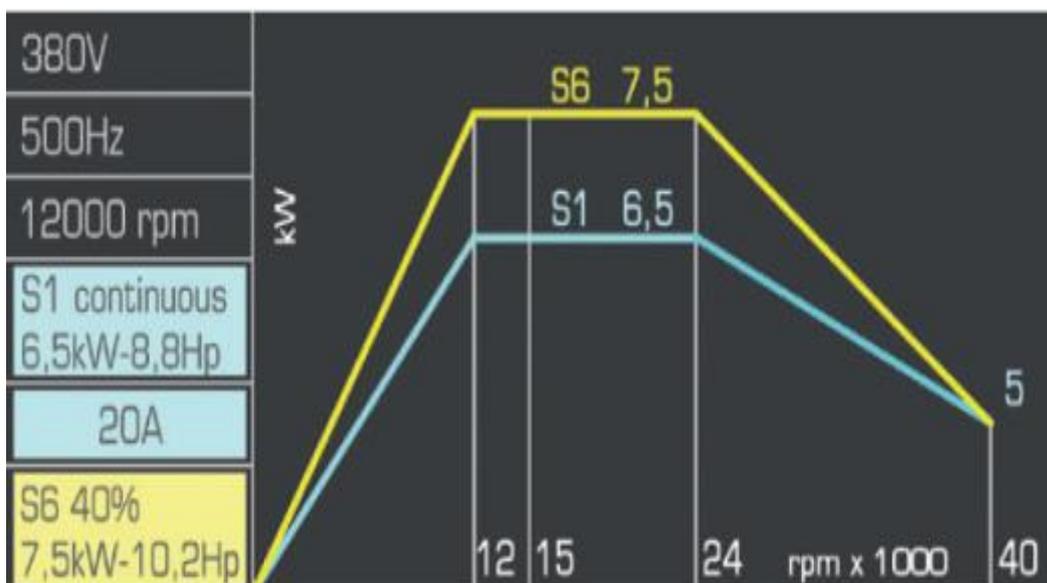


Рисунок 2. Зависимость мощности шпинделя от частоты вращения

Приложение В

1. Расчёт линейных направляющих.

На станке планируется обрабатываться заготовки из алюминиевых сплавов с габаритами в плане 350x500 мм. Размеры стола пусть будут 400x600 мм. Так же будут использоваться станочные тиски.

1. Компоновка оси Y, рисунок 1.

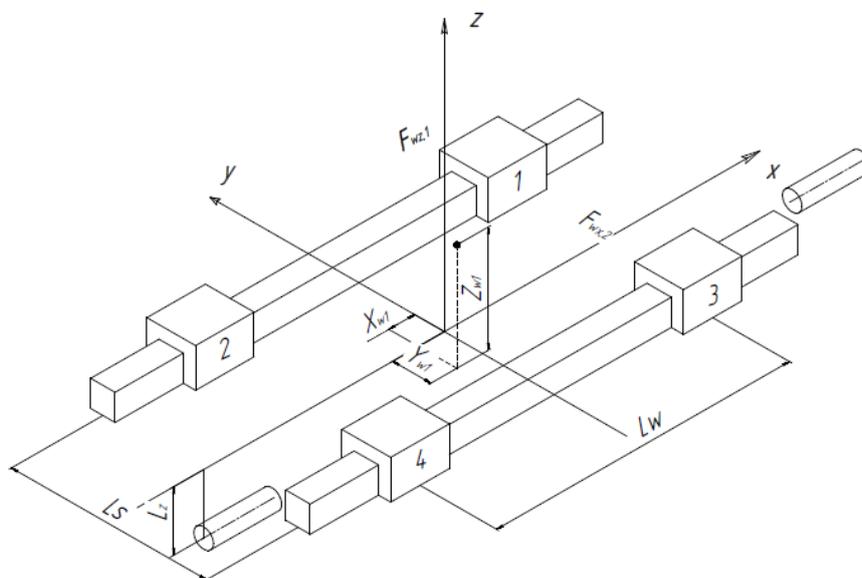


Рисунок 1. Компоновка оси Y два рельса и четыре каретки

Данные компоновки:

$l_y=300$	-	расстояние между каретками вдоль оси Y;
$l_w=400$	-	расстояние между каретками по оси X;
$l_y=0$	-	расстояние между осями ШВП и рельса по Y;
$l_z=21.5$	-	расстояние между осями ШВП и рельса по Z;
$x_{w1}=-6.8$	-	координаты центра тяжести, мм;
$y_{w1}=1.59$		
$z_{w1}=67.5$		
$M=152$	-	масса стола, тисков, заготовки, кг;

2. Динамический цикл

Динамический цикл состоит из трёх фаз, рисунок 2:

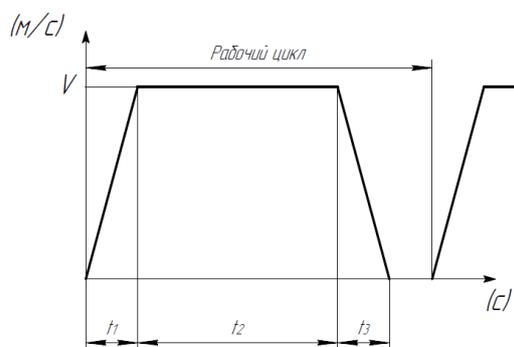


Рисунок 2. Диаграмма скоростей стола станка с ЧПУ

Фаза 1: ускорение t_1

Фаза 2: обработка t_2

Фаза 3: торможение t_3

Данные динамического цикла:

$n=3$ - количество фаз

$t_1=0.1$ - время фазы 1, ускорение, с;

$t_3=0.1$ - время фазы 3, торможения, с;

$v_f=0.029$ - рабочая подача, рассчитана в режимах резания, м/с;

Формула для ускорения в первой фазе:

$$a_1 = \frac{vf}{t_1}$$

вычисленное значение, м/с²:

$$a_1 = 0.287$$

Формула для ускорения во второй фазе:

$$a_3 = \frac{vf}{t_3}$$

вычисленное значение, м/с²:

$$a_1 = -0.287$$

3. Нагрузка

$F_c=337$ - сила резания вдоль оси Y, Н;

$x_{w3}=107$ - координаты точки приложения силы обработки, мм;

$y_{w3}=200$

$z_{w3}=188$

Будем анализировать действующие силы:

Действующие силы рисунок 3:

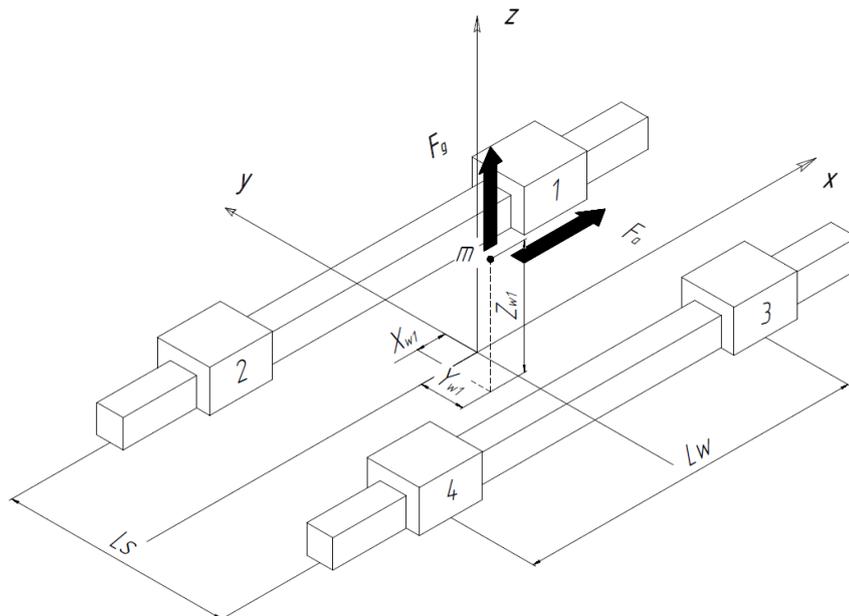


Рисунок 3. Силы ускорения, веса

- 1 Сила веса и сила ускорения;
- 2 Сила веса и сила обработки;
- 3 Сила веса и сила торможения;

Рассчитаем действующие силы:

Сила веса, Н:

$$F_g = M \cdot g = 152 \cdot 9,81 = 1,501 \cdot 10^3$$

Сила ускорения в положительном направлении x во время подхода.

Из-за инерции массы сила действует в отрицательном направлении X, Н:

$$F_{a1} := (-1) \cdot M \cdot a_1 = -43.835$$

Сила ускорения в отрицательном направлении x во время замедления.

Из-за инерции массы сила действует в положительном направлении X, Н:

$$F_{a3} := (-1) \cdot M \cdot a_3 = 43.835$$

1 фаза.

Рассчитаем силовые нагрузки на каретки в первой фазе. Для компоновки два рельса четыре каретки моменты на каретках отсутствуют.

Действующие силы, Н:

$$F_{wz1} := -F_g = -1.501 \cdot 10^3 \quad \text{сила веса, Н;}$$

$$F_{wx2} := -F_{a1} = 43.835$$

сила инерции при ускорении, Н;

Отрывающие/прижимающие нагрузки действующие в направлении оси Z, рисунок 4, Н:

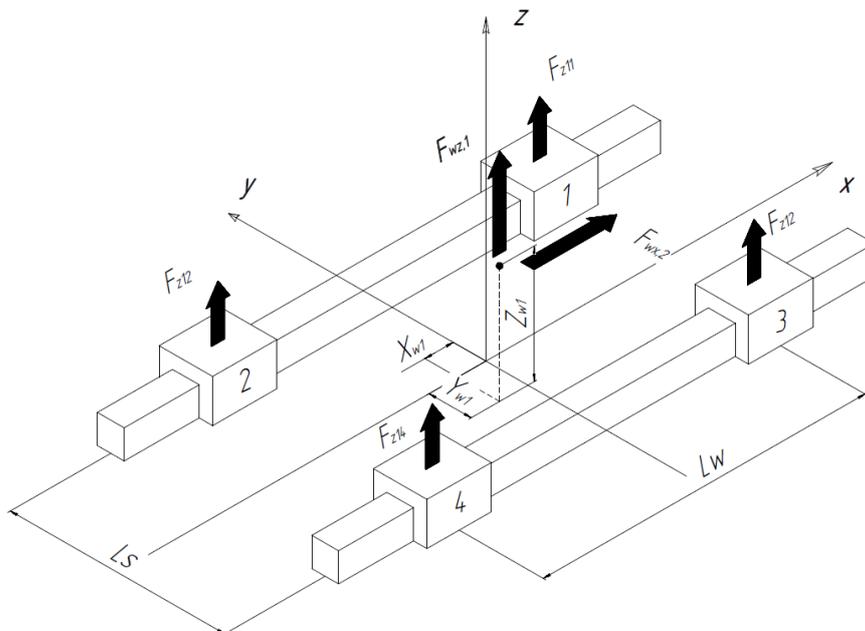


Рисунок 4. Фаза 1, отрывающие нагрузки по оси Z

$$F_{z11} := \frac{F_{wz1}}{4} - \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} - \frac{F_{wx2} \cdot (z_{w1} - l_z)}{2 \cdot l_w} = -387 \quad (\text{H});$$

$$F_{z12} := \frac{F_{wz1}}{4} - \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} + \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} + \frac{F_{wx2} \cdot (z_{w1} - l_z)}{2 \cdot l_w} = -356 \quad (\text{H});$$

$$F_{z13} := \frac{F_{wz1}}{4} + \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} - \frac{F_{wx2} \cdot (z_{w1} - l_z)}{2 \cdot l_w} = -394 \quad (\text{H});$$

$$F_{z14} := \frac{F_{wz1}}{4} + \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} + \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} + \frac{F_{wx2} \cdot (z_{w1} - l_z)}{2 \cdot l_w} = -364 \quad (\text{H});$$

Горизонтальные нагрузки действующие в направлении оси Y, рисунок 5, Н:

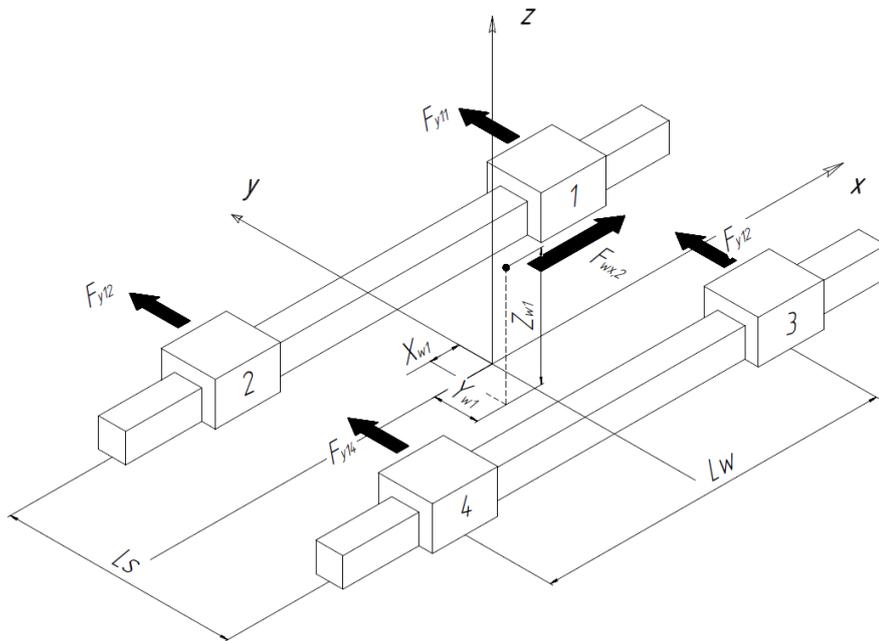


Рисунок 5. фаза 1, горизонтальные нагрузки по оси Y

$$F_{y11} := \frac{F_{wx2} \cdot (y_{w1} - l_y)}{2 \cdot l_w} = 0.09 \quad (\text{H});$$

$$F_{y12} := -\frac{F_{wx2} \cdot (y_{w1} - l_y)}{2 \cdot l_w} = -0.09 \quad (\text{H});$$

$$F_{y13} := \frac{F_{wx2} \cdot (y_{w1} - l_y)}{2 \cdot l_w} = 0.09 \quad (\text{H});$$

$$F_{y14} := -\frac{F_{wx2} \cdot (y_{w1} - l_y)}{2 \cdot l_w} = -0.09 \quad (\text{H});$$

2 фаза.

Расчет нагрузки на подшипник каретки во второй фазе, равномерное движение.

Действующие силы:

$$F_{wz1} := -F_g = -1.501 \cdot 10^3 \quad (\text{H}) \quad \text{сила веса};$$

$$F_{wy3} := -F_c = -337 \quad (\text{H}) \quad \text{сила обработки};$$

Отрывающие/прижимающие нагрузки по направлению оси Z боковые нагрузки по оси Y, рисунок 6:

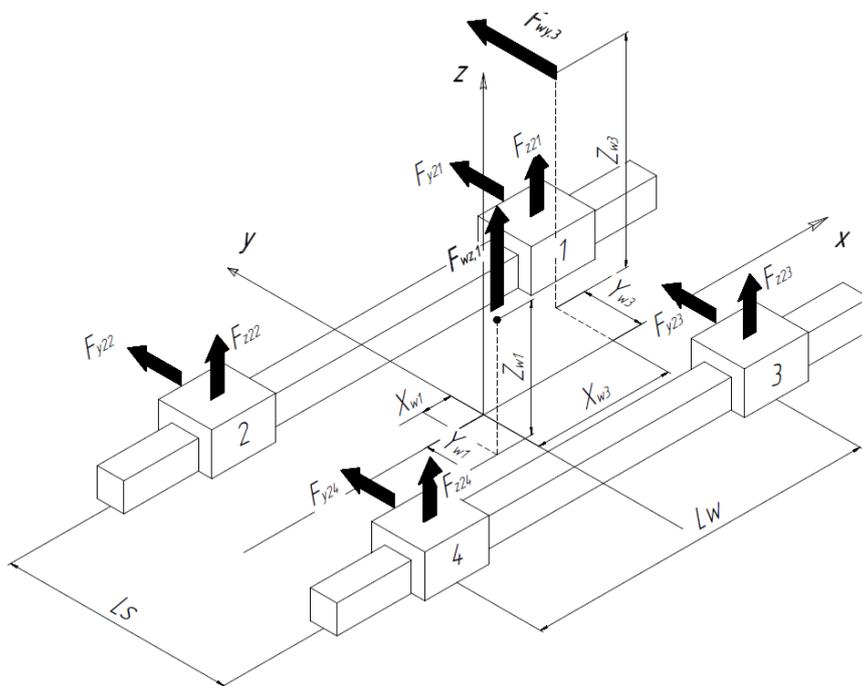


Рисунок 6. Фаза 2

$$F_{z21} := \frac{F_{wz1}}{4} + \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wy3} \cdot z_{w3}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} = -286.375 \quad (\text{H});$$

$$F_{z22} := \frac{F_{wz1}}{4} + \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wy3} \cdot z_{w3}}{2 \cdot l_s} + \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} = -260.859 \quad (\text{H});$$

$$F_{z23} := \frac{F_{wz1}}{4} - \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} + \frac{F_{wy3} \cdot z_{w3}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} = -489.606 \quad (\text{H});$$

$$F_{z24} := \frac{F_{wz1}}{4} - \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} + \frac{F_{wy3} \cdot z_{w3}}{2 \cdot l_s} + \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} = -464.09 \quad (\text{H});$$

Боковые нагрузки в направлении оси Y:

$$F_{y21} := \frac{F_{wy3}}{4} + \frac{F_{wy3} \cdot x_{w3}}{2 \cdot l_w} = -129.324 \quad (\text{H});$$

$$F_{y22} := \frac{F_{wy3}}{4} - \frac{F_{wy3} \cdot x_{w3}}{2 \cdot l_w} = -39.176 \quad (\text{H});$$

$$F_{y23} := \frac{F_{wy3}}{4} + \frac{F_{wy3} \cdot x_{w3}}{2 \cdot l_w} = -129.324 \quad (\text{H});$$

$$F_{y24} := \frac{F_{wy3}}{4} - \frac{F_{wy3} \cdot x_{w3}}{2 \cdot l_w} = -39.176 \quad (\text{H});$$

3 фаза.

Рассчитаем нагрузки на подшипник каретки в третьей фазе.

Действующие силы:

$$F_{wz1} := -F_g = -1.501 \cdot 10^3 \text{ (Н);} \quad \text{сила веса}$$

$$F_{wx4} := -F_{a3} = -43.835 \text{ (Н);} \quad \text{сила инерции при торможении;}$$

Отрывающие/прижимающие нагрузки по направлению оси Z, рисунок 7:

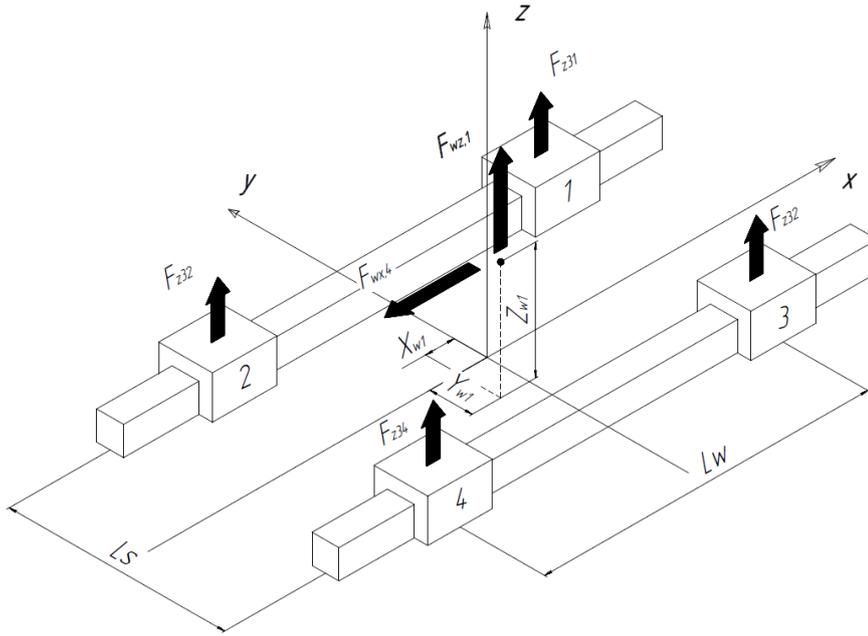


Рисунок 7. Фаза 3, усилия по Z

$$F_{z31} := \frac{F_{wz1}}{4} - \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} - \frac{F_{wx4} \cdot (z_{w1} - l_z)}{2 \cdot l_w} = -381 \text{ (Н);}$$

$$F_{z32} := \frac{F_{wz1}}{4} - \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} + \frac{F_{wx4} \cdot (z_{w1} - l_z)}{2 \cdot l_w} = -387 \text{ (Н);}$$

$$F_{z33} := \frac{F_{wz1}}{4} - \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} - \frac{F_{wx4} \cdot (z_{w1} - l_z)}{2 \cdot l_w} = -381 \text{ (Н);}$$

$$F_{z34} := \frac{F_{wz1}}{4} - \frac{F_{wz1} \cdot y_{w1}}{2 \cdot l_s} - \frac{F_{wz1} \cdot x_{w1}}{2 \cdot l_w} + \frac{F_{wx4} \cdot (z_{w1} - l_z)}{2 \cdot l_w} = -387 \text{ (Н);}$$

Боковые нагрузки в направлении оси Y, рисунок 8:

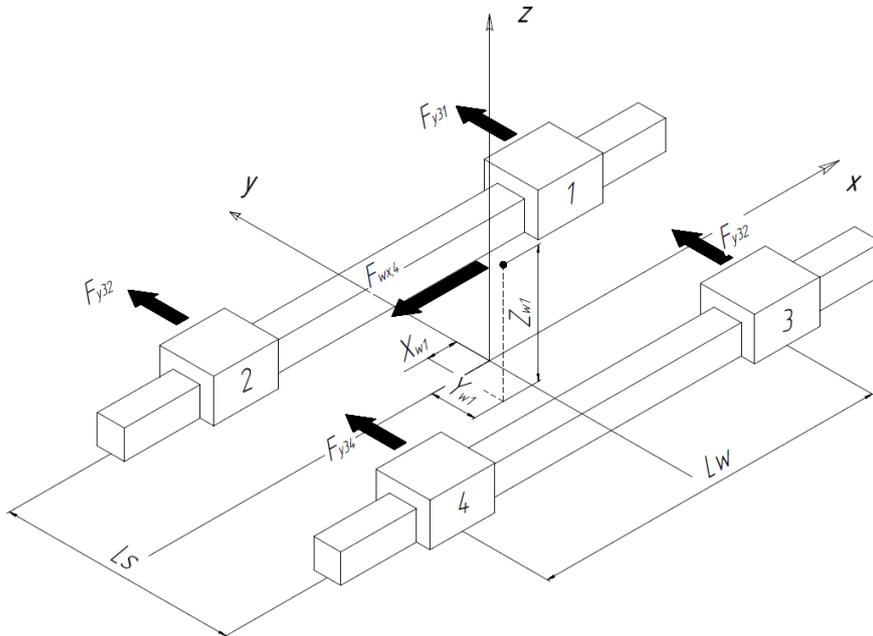


Рисунок 8. Фаза 3, усилия по Y

$$F_{y31} := \frac{F_{wx4} \cdot (y_{w1} - l_y)}{2 \cdot l_w} = -0.087 \quad (\text{H});$$

$$F_{y32} := -\frac{F_{wx4} \cdot (y_{w1} - l_y)}{2 \cdot l_w} = 0.087 \quad (\text{H});$$

$$F_{y33} := \frac{F_{wx4} \cdot (y_{w1} - l_y)}{2 \cdot l_w} = -0.087 \quad (\text{H});$$

$$F_{y34} := -\frac{F_{wx4} \cdot (y_{w1} - l_y)}{2 \cdot l_w} = 0.087 \quad (\text{H});$$

Комбинированная эквивалентная нагрузка на подшипник в первой фазе для кареток №1-4:

$$F_{comb11} := |F_{z11}| + |F_{y11}| = 386.6 \quad (\text{H});$$

$$F_{comb12} := |F_{z12}| + |F_{y12}| = 356.1 \quad (\text{H});$$

$$F_{comb13} := |F_{z13}| + |F_{y13}| = 394.6 \quad (\text{H});$$

$$F_{comb14} := |F_{z13}| + |F_{y13}| = 394.6 \quad (\text{H});$$

Комбинированная эквивалентная нагрузка на подшипник во второй фазе для кареток №1-4:

$$F_{comb21} := |F_{z21}| + |F_{y21}| = 415.7 \quad (\text{H});$$

$$F_{comb22} := |F_{z22}| + |F_{y22}| = 300 \quad (\text{H});$$

$$F_{comb23} := |F_{z23}| + |F_{y23}| = 618.9 \quad (\text{H});$$

$$F_{comb24} := |F_{z24}| + |F_{y24}| = 503.3 \quad (\text{H});$$

Комбинирующая эквивалентная нагрузка на подшипник в третьей фазе для кареток №1-4:

$$F_{comb31} := \left| F_{z31} \right| + \left| F_{y31} \right| = 381.6 \quad (\text{Н});$$

$$F_{comb32} := \left| F_{z32} \right| + \left| F_{y32} \right| = 386.6 \quad (\text{Н});$$

$$F_{comb33} := \left| F_{z33} \right| + \left| F_{y33} \right| = 381.6 \quad (\text{Н});$$

$$F_{comb34} := \left| F_{z34} \right| + \left| F_{y34} \right| = 386.6 \quad (\text{Н});$$

4. Выбираем шариковую рельсовую направляющую:

FNS25

[1]

$C := 28600$ (Н); допустимая динамическая нагрузка стр. 47 [1];

$C_0 := 35900$ (Н); допустимая статическая нагрузка;

$x_{pr} := 0.08$ коэффициент запаса предварительного натяга от динамической нагрузки для класса С2 стр.3-74 [2];

$F_{pr} := C \cdot x_{pr} = 2.288 \cdot 10^3$ (Н); внутренняя нагрузка каретки вызванная предварительным натягом (сила предварительного натяга);

Для определения как будет влиять предварительный натяг на срок службы, рассчитаем отрывающую нагрузку:

$F_{lim} := 2.8 \cdot F_{pr} = 6.406 \cdot 10^3$ (Н); сила при которой происходит разгрузка отдельных дорожек качения;

Комбинирующая эквивалентная нагрузка на подшипник каретки меньше отрывающей силы для всех кареток и всех фаз.

Рассчитаем действительную эквивалентную нагрузку для четырёх кареток и трёх фаз.

$F_{combni} < F_{lim}$;

Т.к. действующая эквивалентная внешняя сила на подшипник каретки меньше внутренней силы предварительного натяга, воспользуемся формулой:

1 фаза

$$F_{eff11} := \left(\frac{F_{comb11}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.498 \cdot 10^3 \quad (\text{Н});$$

$$F_{eff12} := \left(\frac{F_{comb12}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.481 \cdot 10^3 \quad (\text{Н});$$

$$F_{eff13} := \left(\frac{F_{comb13}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.503 \cdot 10^3 \quad (\text{Н});$$

$$F_{eff14} := \left(\frac{F_{comb14}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.503 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

2 фаза

$$F_{eff21} := \left(\frac{F_{comb21}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.514 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

$$F_{eff22} := \left(\frac{F_{comb22}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.451 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

$$F_{eff23} := \left(\frac{F_{comb23}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.627 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

$$F_{eff24} := \left(\frac{F_{comb24}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.563 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

3 фаза

$$F_{eff31} := \left(\frac{F_{comb31}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.495 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

$$F_{eff32} := \left(\frac{F_{comb32}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.498 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

$$F_{eff33} := \left(\frac{F_{comb33}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.495 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

$$F_{eff34} := \left(\frac{F_{comb34}}{2.8 \cdot F_{pr}} + 1 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr} = 2.498 \cdot 10^3 \quad (\text{H});$$

5. Расчёт номинального срока службы.

Для расчёта, эквивалентная динамическая нагрузка F_m на подшипник рассчитывается в соответствии шагом дискретного перемещения q_{sp} .

$$s_1 := \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} = 0.001 \quad \text{пробег за время первой фазы, м;}$$

$s_2 := 0.2$ пробег вдоль заготовки (фрезерование), м;

$s_3 := (-1) \cdot \frac{a_3 \cdot t_3^2}{2} = 0.001$ пробег за время третьей фазы, м;

$t_2 := \frac{s_2}{v_f} = 6.981$ время фрезерования, с;

Шаги дискретного перемещения:

$s := s_1 + s_2 + s_3 = 0.203$ пробег за три фазы, м;

$q_{s1} := \frac{s_1}{s} \cdot 100 = 0.7$ в первой фазе, %;

$q_{s2} := \frac{s_2}{s} \cdot 100 = 98.6$ во второй фазе, %;

$q_{s3} := \frac{s_3}{s} \cdot 100 = 0.7$ в третьей фазе, %;

Эквивалентная динамическая нагрузка на подшипники четырёх кареток по трём фазам:

$$F_{m1} := \sqrt[3]{(F_{eff11})^3 \cdot \frac{q_{s1}}{100} + (F_{eff21})^3 \cdot \frac{q_{s2}}{100} + (F_{eff31})^3 \cdot \frac{q_{s3}}{100}} = 3 \cdot 10^3 \quad (\text{Н});$$

$$F_{m2} := \sqrt[3]{(F_{eff12})^3 \cdot \frac{q_{s1}}{100} + (F_{eff22})^3 \cdot \frac{q_{s2}}{100} + (F_{eff32})^3 \cdot \frac{q_{s3}}{100}} = 2 \cdot 10^3 \quad (\text{Н});$$

$$F_{m3} := \sqrt[3]{(F_{eff13})^3 \cdot \frac{q_{s1}}{100} + (F_{eff23})^3 \cdot \frac{q_{s2}}{100} + (F_{eff33})^3 \cdot \frac{q_{s3}}{100}} = 3 \cdot 10^3 \quad (\text{Н});$$

$$F_{m3} := \sqrt[3]{(F_{eff14})^3 \cdot \frac{q_{s1}}{100} + (F_{eff24})^3 \cdot \frac{q_{s2}}{100} + (F_{eff34})^3 \cdot \frac{q_{s3}}{100}} = 3 \cdot 10^3 \quad (\text{Н});$$

На третью каретку действует самая большая нагрузка. Расчёт номинального срока службы проведём по данной нагрузке.

6. Расчёт номинального срока службы.

Срок службы должен составить 10 000 часов.

Номинальный срок службы в метрах для шариковой каретки FNS25:

$$L_3 := \left(\frac{C}{F_{m3}} \right)^3 \cdot 10^5 = 1.391 \cdot 10^8 \quad \text{максимальный пробег для}$$

третьей каретки, м;

Рассчитаем шаги дискретного времени и средние скорости в отдельных фазах:

$$t_1 = 0.1 \quad \text{время ускорения, с;}$$

$$t_2 = 6.981 \quad \text{время фрезерования, с;}$$

$$t_3 = 0.1 \quad \text{время торможения, с;}$$

$$t := t_1 + t_2 + t_3 = 7.181 \quad \text{общее время прохода, с;}$$

$$q_{t1} := \frac{t_1}{t} \cdot 100 = 1.4 \quad \text{дискретного время в первой фазе, \%};$$

;

$$q_{t2} := \frac{t_2}{t} \cdot 100 = 97.2 \quad \text{дискретного время во второй фазе, \%};$$

$$q_{t3} := \frac{t_3}{t} \cdot 100 = 1.4 \quad \text{дискретного время в третьей фазе, \%};$$

Средние скорости в трех фазах:

$$v_1 := \frac{s_1}{t_1} = 0.014 \quad (\text{м/с});$$

$$v_2 := \frac{s_2}{t_2} = 0.029 \quad (\text{м/с});$$

$$v_3 := \frac{s_3}{t_3} = 0.014 \quad (\text{м/с});$$

Рассчитаем среднюю скорость во всём диапазоне цикла:

$$v_m := \frac{|v_1| \cdot q_{t1} + |v_2| \cdot q_{t2} + |v_3| \cdot q_{t3}}{100} = 0.028 \quad (\text{м/с});$$

На основании средней скорости рассчитаем номинальный срок службы в рабочих часах:

$$L_{h3} := \frac{L_3}{60 \cdot v_m} = 82070774 \quad (\text{час})$$

Для самой нагруженной третьей каретки, срок службы в часах больше требуемых 10 000 часов.

7. Расчет эквивалентной статической нагрузки на подшипник каретки.

$F_{max} := F_{eff23} = 2.627 \cdot 10^3$ максимальная нагрузка приходится во второй фазе на третьей каретке, Н;

8. Рассчитаем коэффициент запаса прочности статической нагрузки.

$C_0 = 3.59 \cdot 10^4$ (Н) допустимая статическая нагрузка;

$S_0 := \frac{C_0}{F_{max}} = 13.7$ коэффициент запаса прочности

статической нагрузки для третьей каретки;

Из таблицы стр. 3.81 [2], для станка ЧПУ характерны условия с сильными ударными и вибрационными нагрузками S0 4...6. Рассчитанный коэффициент нагрузки превышен в два раза. Можно уменьшить габарит рельса и класс предварительного натяга.

9. Смазка направляющих.

Факторы влияющие на выбор и периодичность смазки:

- Нагрузки;
- Скорость;
- Длина хода;
- Температура;
- Влажность;
- Воздействия СОЖ;
- Воздействия загрязнений стружки;

Наши направляющие будут работать в условиях низких нагрузок, небольших скоростей и длин ходов, стабильной температуры, повышенной влажности, воздействия СОЖ и металлической стружки - выбираем жидкую смазку подающуюся по трубкам от системы автоматической смазки.

10. Жёсткость линейных направляющих

Справочное руководство. Технология линейных перемещений Rexroth Bosh Group. стр. 63 Из диаграммы жёсткости для 25 каретки, с преднатягом C2, находим значения упругой деформации δ от приложенной силы F по трем направлениям.

Диаграмма жесткости для трех основных направлений нагружения с предварительным натягом C1 (0.02 C) и C2 (0.08 C). Пример: шариковая каретка, фланцевое исполнение, типоразмер 25.

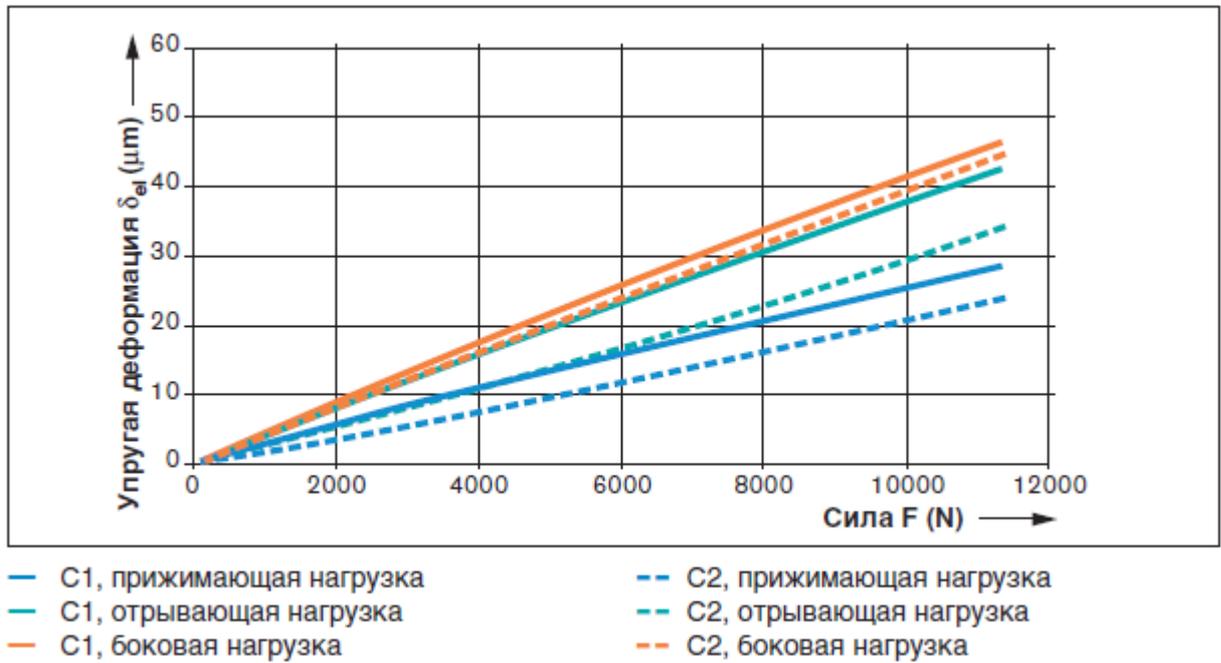
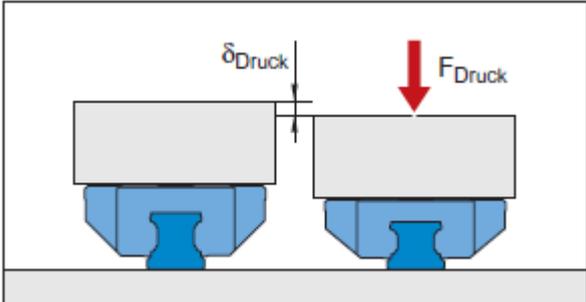
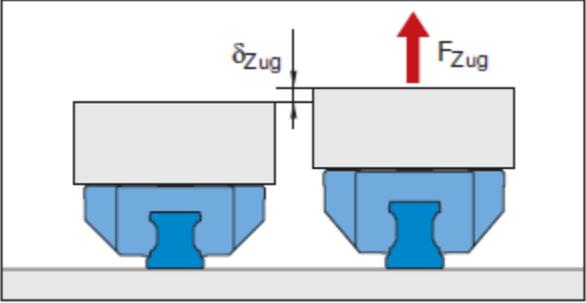
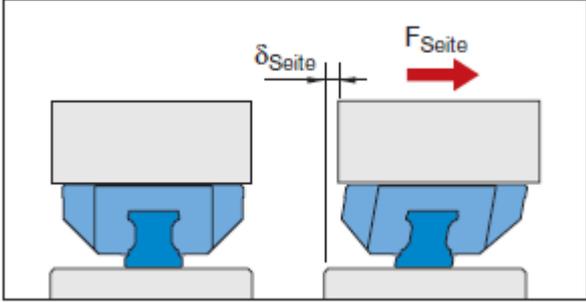


Рисунок 9. График упругой деформации кареток FNS25

Таблица 1. Деформация кареток от направления и величины приложенной нагрузки

Нагрузка	Действие нагрузки	δ , (мкм)	F, (Н)
Прижимающая нагрузка		12	6000
Отрывающая нагрузка		24	8000
Боковая нагрузка		39	10000

По формуле жёсткости (Н/мкм):

$$c = \frac{F}{\delta}$$

Где F приложенная сила, Н;

δ – деформация, мкм;

Вычисляем значения жесткости с по трём направлениям и сводим в таблицу.

Таблица 2. Деформация и жёсткость каретки от величины и направления внешней силы

Обозначение	Ед. изм.	Прижимная нагрузка	Отрывающая нагрузка	Боковая нагрузка
F	Н	6000	8000	10000
δ	мкм	12	24	39
c	Н/мкм	500	333	256

Приложение Г

1. Выбор шарико-винтовой передачи и серводвигателя по оси Y

Данные для расчёта из предыдущих вычислений, таблица 2;

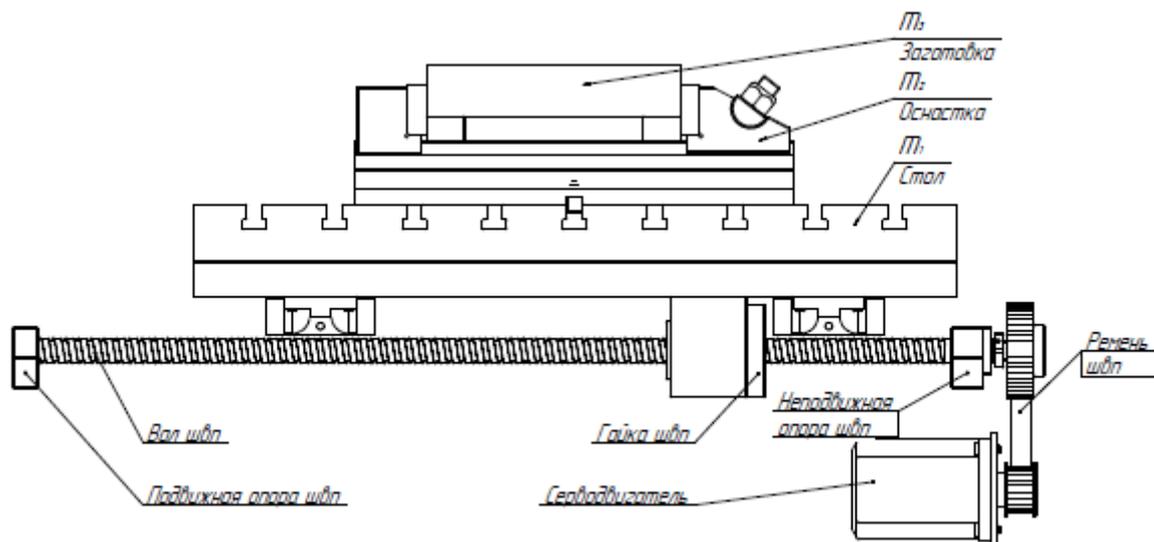


Рисунок 1. Шарико-винтовая передача по оси Y

Таблица 1. Данные для выбора шарико-винтовой передачи

$m_1=131$	кг	масса стола
$m_2=15$	кг	масса оснастки
$m_3=5$	кг	масса заготовки
$M=151$	кг	масса перемещаемая по оси Y
$l_s=600$	мм	длина хода стола по оси Y
$V_{max}=0.25$	м/с	максимальная скорость перемещения стола
$v_f=0.029$	м/с	подача при фрезеровании
$n=2.8$		количество возвратно-поступательных перемещений в минуту
0,02	мм	величина осевого зазора
$k=0.005$	мм	точность позиционирования (выполнение позиционирования при движении в отрицательном направлении)
$\delta=0.018$	мм	повторяемость точности позиционирования
$s=0.005$	мм/импульс	минимальная величина подачи
4000	часов	ожидаемый срок службы
Привод		серводвигатель переменного тока
3000	мин ⁻¹	номинальная частота вращения серводвигателя
$i=2$		передаточное отношение редуктора
$J_m=1 \cdot 10^{-3}$	кг·м ²	инерционный момент серводвигателя
$\mu=0.003$		коэффициент трения направляющих (качение)
$\eta=0.9$		КПД ШВП
$f=15$	Н	сопротивление трения поверхностей

		направляющей
$F_c=337$	Н	усилие резания
$t_1=0.1$	с	время разгона
$t_2=0.1$	с	время торможения
$t=\frac{60}{n}=21.4$	с	время цикла

Порядок подбора ШВП¹:

1. Выбор точности угла подъёма резьбы.
2. Выбор осевого зазора.
3. Выбор длины ходового винта.
4. Предварительный выбор шага резьбы ходового винта.
5. Выбор разрешения энкодера серводвигателя и окончательный выбор шага ходового винта.
6. Выбор конструкции опор ходового винта.
7. Анализ допустимой осевой нагрузки.
 - 7.1 Расчёт допустимой осевой нагрузки для холостого хода.
 - 7.2 Расчёт допустимой осевой нагрузки для рабочей подачи.
8. Критическая нагрузка на ходовой винт.
9. Допустимая нагрузка на растяжение-сжатие.
10. Анализ допустимой частоты вращения ШВП.
11. Допустимая частота вращения, определяемая опасной скоростью ходового винта.
12. Допустимая частота вращения, определяемая значением DN;
13. Выбор гайки.
14. Анализ допустимой осевой нагрузки для выбранной гайки.
15. Расчёт пройденного расстояния.
16. Средняя осевая нагрузка.
17. Номинальный ресурс.
18. Среднее число оборотов в минуту.
19. Расчёт срока службы на основе номинального ресурса.
20. Расчёт срока службы по пройденному расстоянию на основе номинального ресурса.
21. Анализ жёсткости.
22. Осевое смещение, вызванное осевой жёсткостью системы винтовой подачи.
23. Погрешность позиционирования, вызванная осевой жёсткостью системы винтовой подачи.
24. Анализ температурных деформаций из-за выделения тепла.
25. Анализ крутящего момента.

¹Шарико-винтовая передача. Общий каталог ТНК, 490 стр.

2. Выбор точности угла подъёма резьбы

Для получения точности позиционирования $\delta=0.018$ мм на 400 мм.

Тогда на 300 мм точность позиционирования 0.0135 мм. Точность угла подъёма резьбы выбираем из таблицы №1 стр. В15-20¹. Класс точности С3 (прецизионная ШВП)

3. Выбор осевого зазора

Из таблицы 10, стр. В15-27¹ находим обозначение заданного осевого зазора - G2.

Из таблицы 11 для класса точности С3 и осевого зазора G2 выбираем диаметр ШВП:

$$d_s := 20 \text{ мм},$$

Максимальная длина для выбранного диаметра 1000 мм.

4. Выбор длины ходового винта

Длина хода $l_s = 600$ мм;

Длина гайки 100 мм;

Длина концов вала 100 мм;

Тогда общая длина ходового винта:

$$l_t := (600 + 200 + 100) = 900 \text{ мм};$$

$l_t = 900$ mm расчётная длина меньше максимальной длины для вала d20 mm;

5. Предварительный выбор шага резьбы ходового винта

Если,

$n=3000$ номинальная частота серводвигателя составляет, мин⁻¹;

$i=2$ передаточное отношение редуктора;

$V_{\max}=0.25$ максимальная скорость перемещения стола, м/с;

¹Шарико-винтовая передача. Общий каталог ТНК, 490 стр.

Тогда шаг ходового винта будет равен:

$$P_h := \frac{V_{\max} \cdot i \cdot 1000 \cdot 60}{n_s}, \quad P_h = 10 \text{ мм};$$

Выбираем ходовой винт с шагом резьбы 10 мм или больше.

6. Выбор разрешения энкодера серводвигателя и окончательный выбор шага ходового винта

В стандартный набор поставки серводвигателя входят энкодер со следующим разрешением, имп/об:

1000	без мультиплицирования
1500	без мультиплицирования
2000	увеличение вдвое
3000	увеличение вдвое
4000	увеличение вчетверо

6000 увеличение вчетверо

Заданное разрешение $s=0.005$ мм;

Тогда при разрешении энкодера и передаточного отношения редуктора $i = 2$, шаг резьбы будет, мм:

1000 имп/об = 10	1500 имп/об = 15
2000 имп/об = 20	3000 имп/об = 30
4000 имп/об = 40	6000 имп/об = 60

Из таблицы 18, стр. В15-34¹ выбираем для ШВП d 20 mm шаг резьбы, мм:

$$P_h=10$$

7. Выбор конструкции опор ходового винта

Длина ходового винта 900 мм, для устранения влияния теплового удлинения винта и уменьшения сложности монтажа ШВП, выбираем конфигурацию "фиксированная опора - плавающая опора".

¹Шарико-винтовая передача. Общий каталог ТНК, 490 стр.

8. Анализ допустимой осевой нагрузки

Проведём два вида расчёта - для холостого хода и рабочей подачи.

8.1 Расчёт допустимой осевой нагрузки для холостого хода.

Ускорение:

$$a_{max} := \frac{V_{max}}{t_1}, \quad a_{max} = 2.5 \text{ м/с};$$

Масса перемещаемого груза:

$$M := (m_1 + m_2 + m_3), \quad M = 151 \text{ кг};$$

При поступательном ускорении:

$$Fa_1 := \mu \cdot M \cdot g + f + M \cdot a_{max}, \quad Fa_1 = 396.9 \text{ Н};$$

При равномерном движении вперёд:

$$Fa_2 := \mu \cdot M \cdot g + f, \quad Fa_2 = 19.4 \text{ Н};$$

При торможении (движение вперёд):

$$Fa_3 := \mu \cdot M \cdot g + f - M \cdot a_{max}, \quad Fa_3 = -358.1 \text{ Н};$$

При ускорении (движение назад):

$$Fa_4 := -\mu \cdot M \cdot g - f - M \cdot a_{max}, \quad Fa_4 = -396.9 \text{ Н};$$

При равномерном движении назад:

$$Fa_5 := -\mu \cdot M \cdot g - f, \quad Fa_5 = -19.4 \text{ Н};$$

При торможении (движение назад):

$$Fa_6 := -\mu \cdot M \cdot g - f - M \cdot a_{max}, \quad Fa_6 = -396.9 \text{ Н};$$

Максимальная осевая нагрузка, действующая на ШВП, составит:

$$Fa_{max} := Fa_1 = 396.9 \text{ Н};$$

8.2 Расчёт допустимой осевой нагрузки для рабочей подачи

Ускорение:

$$a_f := \frac{v_f}{t_1}, \quad a_f = 0.287 \text{ м/с};$$

Масса перемещаемого груза:

$$M := (m_1 + m_2 + m_3), \quad M = 151 \text{ кг};$$

$$F_c = 337 \text{ усилие резания, Н};$$

При поступательном ускорении:

$$Fa_1 := \mu \cdot M \cdot g + f + F_c + M \cdot a_f, \quad Fa_1 = 399.7 \text{ Н};$$

При равномерном движении вперёд:

$$Fa_2 := \mu \cdot M \cdot g + f + F_c, \quad Fa_2 = 356.4 \text{ Н};$$

При торможении (движение вперёд):

$$Fa_3 := \mu \cdot M \cdot g + f + F_c - M \cdot a_f, \quad Fa_3 = 313.2 \text{ Н};$$

При ускорении (движение назад):

$$Fa_4 := -\mu \cdot M \cdot g - f - F_c - M \cdot a_f, \quad Fa_4 = -399.7 \text{ Н};$$

При равномерном движении назад:

$$Fa_5 := -\mu \cdot M \cdot g - f - F_c, \quad Fa_5 = -356.4 \text{ Н};$$

При торможении (движение назад):

$$Fa_6 := -\mu \cdot M \cdot g - f - F_c + M \cdot a_f, \quad Fa_6 = -313.2 \text{ Н};$$

Максимальная осевая нагрузка, действующая на ШВП, составит:

$$Fa_{max} := Fa_1 = 399.7 \text{ Н};$$

8.3 Расчёт допустимой осевой нагрузки для холостого хода

Ускорение холостого хода:

$$a_{max} := \frac{V_{max}}{t_1} = 2.5 \text{ м/с};$$

При поступательном ускорении:

$$Fa_{1max} := \mu \cdot M \cdot g + f + M \cdot a_{max} = 396.9 \text{ Н};$$

Значительно меньше максимальной осевой нагрузки при рабочей подаче. В расчетах усилие на холостом ходу не используем;

9. Критическая нагрузка на ходовой винт

$\eta_2 = 20$ коэффициент учитывающий способ установки стр. В15-38¹ (фиксированная опора - фиксированная опора), т.к. рассматриваем часть винта с фиксированным подшипником и гайкой.

$d_1 = 17.5$ диаметр ходового винта по впадинам резьбы, мм.

$l_t = 900$ расчётная длина ходового винта, мм.

$$P_1 := \frac{\eta_2 \cdot d_1^4 \cdot 10^4}{l_t^2} = 2.3 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

¹Шарико-винтовая передача. Общий каталог ТНК, 490 стр.

10. Допустимая нагрузка на растяжение-сжатие

$$P_2 := 116 \cdot d_1^2 = 3.6 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$Fa_{max} = 399.7$ Н, - на много меньше критической и допустимой растягивающей, сжимающей нагрузок. Проблем с эксплуатацией ШВП возникнуть не должно.

11. Анализ допустимой частоты вращения ШВП

Максимальная частота вращения:

$d_s = 20$ диаметр ходового винта, мм;

$P_h = 10$ шаг ходового винта, мм;

$V_{max} = 0.25$ максимальная скорость стола, мм/с;

$$N_{max} := \frac{V_{max} \cdot 60 \cdot 10^3}{P_h} = 1.5 \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1};$$

12. Допустимая частота вращения, определяемая опасной скоростью ходового винта

$\lambda_2 = 15.1$ коэффициент в соответствии с методом установки стр. В15-40¹. (фиксированная опора-плавающая опора).
Рассматриваем участок винта между гайкой и плавающей опорой.

$l_t = 900$ (мм) расчётная длина ходового винта.

$d_1 = 17.5$ (мм) диаметр ходового винта по впадинам резьбы.

$$N_1 := \frac{\lambda_2 \cdot d_1 \cdot 10^7}{l_t^2} = 3.262 \cdot 10^3 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

13. Допустимая частота вращения, определяемая значением DN

$D = 20.75$ межцентровое расстояние для шариков, мм;

$$N_2 := \frac{70000}{D} = 3.373 \cdot 10^3 \text{ мм}^{-1};$$

Для выбранного размера ходового винта максимальная скорость вращения меньше допустимой скорости вращения.

¹Шарико-винтовая передача. Общий каталог ТНК, 490 стр.

14. Выбор гайки

Выбираем прецизионную ШВП с предварительным натягом:

ВIF 2010А-3, смещение шага в середине шариковой гайки, осевой зазор настраивается на отрицательное значение (под предварительным натягом). Конструкция компактна.

Грузоподъёмность:

$Ca := 7.2 \cdot 10^3$	динамическая грузоподъёмность, Н;
$C_{0a} := 13.2 \cdot 10^3$	статическая грузоподъёмность, Н;
$D_p := 21$	межцентровое расстояние до шариков, мм;
$d_1 := 16.4$	диаметр резьбы по впадинам, мм;
$K := 250$	жёсткость, Н/мм;
$J_s := 1.23 \cdot 10^{-3}$	инерционный момент ходового винта, кг·см ² ;

15. Анализ допустимой осевой нагрузки для выбранной гайки

Гайка будет использоваться на металлообрабатывающем оборудовании, на неё будет воздействовать ударные нагрузки.

$f_s := 3.5$ коэффициент статического запаса прочности. табл.1
стр. В15-47¹

$P_s := \frac{C_{0a}}{f_s} = 3.771 \cdot 10^3$ допустимая осевая нагрузка гайки, Н;

$Fa_{max} = 399.7$ (Н); максимальная осевая нагрузка значительно меньше допустимой осевой нагрузки P_s . Гайка работать будет нормально.

¹Шарико-винтовая передача. Общий каталог ТНК, 490 стр.

16. Расчёт пройденного расстояния

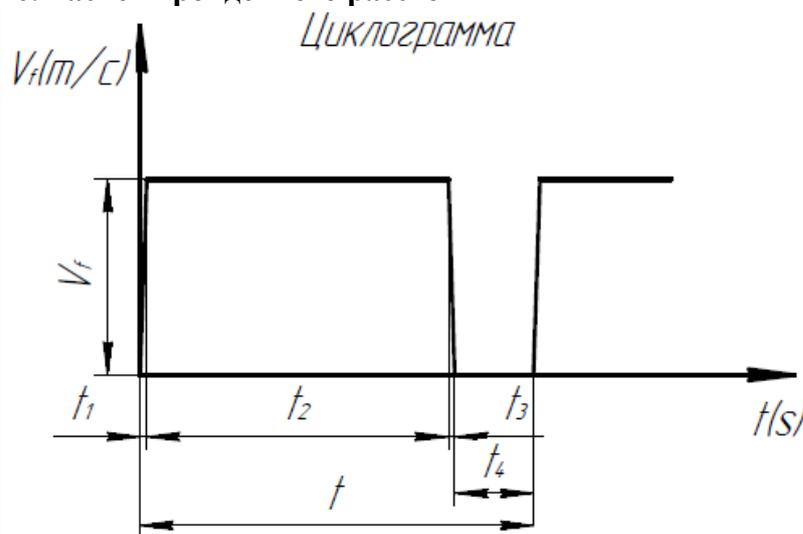


Рисунок 2. Циклограмма скорости

$v_f = 0.029$ скорость рабочей подачи, мс/;

$t_1 = 0.1$ время ускорения, с;

$$t_3 := 0.1 \quad \text{время торможения, с;}$$

$$t := \frac{60}{n} = 21.429 \quad \text{время цикла, с;}$$

$$l_s = 600 \quad \text{длина хода по оси Y, мм;}$$

Пройденное расстояние при ускорении:

$$l_{1.4} := \frac{v_f \cdot t_1}{2} \cdot 10^3 = 1.433 \quad \text{мм;}$$

Пройденное расстояние при равномерном движении

$$l_{2.5} := l_s - \frac{(v_f \cdot t_1 + v_f \cdot t_3)}{2} \cdot 10^3 = 597.135 \quad \text{мм;}$$

Пройденное расстояние при торможении

$$l_{3.6} := \frac{v_f \cdot t_3}{2} \cdot 10^3 = 1.433 \quad \text{мм;}$$

$$t_2 := \frac{l_{2.5}}{v_f \cdot 10^3} = 20.842 \quad \text{время равномерного движения, с;}$$

$$t_4 := t - (t_1 + t_2 + t_3) = 0.386 \quad \text{время простоя, с;}$$

На основании указанных выше расчётов в таблице 2 показана связь между приложенной осевой нагрузкой и пройденным расстоянием:

Таблица 2. Связь между приложенной нагрузкой и пройденным расстоянием при различных видах движения

№	Движение	Приложенная осевая нагрузка, Fa (Н)	Пройденное расстояние ln (мм)
1	При поступательном ускорении	385,5	12,5
2	При равномерном движении (прямое направление)	355,1	575
3	При поступательном торможении	324,7	12,5
4	При ускорении (обратное направление)	-385,5	12,5
5	При равномерном движении (обратное направление)	-355,1	575
6	При торможении (обратное направление)	-324,7	12,5

$$l_1 := 12.5 \quad l_2 := 575 \quad l_3 := 12.5 \quad l_4 := 12.5 \quad l_5 := 575 \quad l_6 := 12.5 \quad mm$$

Направление нагрузки (с положительным и отрицательным знаком) меняется на обратное по строкам № 4,5,6. Рассчитываем среднюю осевую нагрузку в двух направлениях.

17. Средняя осевая нагрузка

- Средняя осевая нагрузка в направлении с положительным знаком №1-3;

$$F_{m1} := \sqrt[3]{\frac{Fa_1^3 \cdot l_1 + Fa_2^3 \cdot l_2 + Fa_3^3 \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6}} = 283.1 \quad H;$$

- Средняя осевая нагрузка с отрицательным знаком №4-6;

$$F_{m2} := \sqrt[3]{\frac{|Fa_4^3| \cdot l_1 + |Fa_5^3| \cdot l_2 + |Fa_6^3| \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6}} = 283.1 \quad H;$$

Средняя осевая нагрузка составляет:

$$F_m := F_{m1} = 283.1 \quad H;$$

18. Номинальный ресурс

$f_w := 1.5$ коэффициент нагрузки, табл. 2 стр. В15-48;

$F_m = 283.1$ средняя нагрузка, Н;

$Ca = 7.2 \cdot 10^3$ статическая грузоподъемность гайки ВIF 2010А-3, Н;

$$L := \left(\frac{Ca}{f_W \cdot F_m} \right)^3 \cdot 10^6 = 4.9 \cdot 10^9 \quad (\text{об});$$

19. Среднее число оборотов в минуту

$$\begin{aligned} n &= 2.8 && \text{количество возвратно-поступательных движений, мин}^{-1}; \\ l_s &= 600 && \text{длина хода, мм}; \\ P_h &= 10 && \text{шаг резьбы}; \end{aligned}$$

$$N_m := \frac{2 \cdot n \cdot l_s}{P_h} = 336 \quad \text{мин}^{-1};$$

20. Расчёт срока службы на основе номинального ресурса

$$\begin{aligned} L &= 4.9 \cdot 10^9 && \text{номинальный ресурс, об}; \\ N_m &= 336 && \text{среднее число оборотов в минуту, мин}^{-1}; \end{aligned}$$

$$L_h := \frac{L}{60 \cdot N_m} = 2.4 \cdot 10^5 \quad (\text{ч})$$

21. Расчёт срока службы по пройденному расстоянию L_s , (км) на основе номинального ресурса

$$\begin{aligned} L &= 4.9 \cdot 10^9 && \text{номинальный ресурс, об}; \\ P_h &= 10 && \text{шаг резьбы, мм}; \end{aligned}$$

$$L_s := L \cdot P_h \cdot 10^{-6} = 4.9 \cdot 10^4$$

Гайка В1F 2010А-3 удовлетворяет по ожидаемому сроку службы 40 000 часов.

20. Анализ жёсткости

Для увеличения точности позиционирования винтовой подачи станка в процессе резания, необходимо предусмотреть сбалансированную жёсткость узлов.

- Осевая жёсткость в системе винтовой подачи.

$$Fa_{max} = 399.7 \quad \text{- осевая нагрузка, Н};$$

$$\delta = 0.018 \quad \text{- упругое смещение системы винтовой подачи в осевом направлении, мм};$$

$$K := \frac{Fa_{max}}{\delta \cdot 10^3} = 22.2 \quad \text{осевая жёсткость системы винтовой подачи, Н/мкм;}$$

Осевая жёсткость системы винтовой подачи K рассчитывается:

$$K := K_s + K_N + K_B + K_H \quad \text{где:}$$

K_s осевая жёсткость ходового винта, Н/мкм;

K_N осевая жёсткость гайки, Н/мкм;

K_B осевая жёсткость опорного подшипника, Н/мкм;

K_H осевая жёсткость корпуса для гайки и корпуса опорного подшипника, Н/мкм;

- **Осевая жёсткость ходового винта для конфигурации «фиксированная опора - плавающая опора»:**

$l_s = 600$ расстояние между фиксированной опорой и гайкой, мм;

$d_1 = 16.4$ диаметр внутренней резьбы ходового винта, мм;

$E = 2.06 \cdot 10^5$ модуль Юнга, Н/мм²;

$A = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 = 211.2$ площадь поперечного сечения ходового винта по внутренней резьбе, мм²;

$K_s = \frac{A \cdot E}{1000 \cdot l_s} = 72.5$ осевая жёсткость ходового винта, Н/мкм;

- **Осевая жёсткость гайки с предварительным натягом:**

Слишком большой предварительный натяг отрицательно влияет на срок службы и ведёт к повышенному выделению тепла. В качестве ориентира, максимальную величину предварительного натяга следует устанавливать на уровне 10% от номинальной динамической грузоподъёмности (Ca).

$Fa_{max} = 399.7$ максимальная осевая нагрузка на ШВП, Н;

$Ca = 7.2 \cdot 10^3$ динамическая грузоподъёмность ШВП, Н;

$K = 250$ жёсткость ШВП ВIF 2010А-3 стр. А15-186¹ при предварительном натяге 10% от (Ca), Н/мкм;

$Fa_0 = Fa_{max} \cdot 1.3 = 519.6$ предварительный натяг равен 6.5% от динамической грузоподъёмности (Ca), Н;

Когда приложенный предварительный натяг не равен 10% от номинальной динамической грузоподъёмности (Ca), жёсткость рассчитываем по формуле:

$$K_N := K \cdot \left(\frac{Fa_0}{0.1 \cdot Ca} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 0.8 = 179.4 \quad \text{Осевая жёсткость гайки с}$$

предварительным натягом, Н/мкм;

¹Шарико-винтовая передача. Общий каталог ТНК, 490 стр.

- Осевая жёсткость опорного подшипника.

Из таблицы стр. А15-319¹ выбираем фиксированную подшипниковую опору, ЕК 15.

$Fa_0 = 519.6$ приложенный предварительный натяг опорного подшипника, Н;

$D_a = 4.763$ диаметр шарика подшипника 7002 DF P5, мм;

$Z = 11$ количество шариков в подшипнике;

$\alpha = 30^\circ$ угол первоначального контакта опорного подшипника;

$$Q := \frac{Fa_0}{Z \cdot \sin(\alpha)} = 94.475 \quad \text{осевая нагрузка, Н;}$$

$$\delta a_0 := \frac{0.45}{\sin(\alpha)} \cdot \left(\frac{Q^2}{D_a} \right)^{\frac{1}{3}} = 11.1 \quad \text{осевое смещение, мкм;}$$

$$K_B := \frac{3 \cdot Fa_0}{\delta a_0} = 140.5 \quad \text{осевая жёсткость опорного подшипника, Н/мкм;}$$

$K_H = 300$ - осевая жёсткость корпуса гайки, Н/мкм;

Осевая жёсткость системы винтовой подачи, Н/мкм:

21. Осевое смещение вызванное осевой жёсткостью системы винтовой подачи

На ходовом винте, в отличие от других узлов в системе винтовой подачи, значение осевой жёсткости колеблется в зависимости от его положения при совершении хода. При высокой осевой жесткости такое её изменение на ходовом винте влияет на точность позиционирования.

$l_1 = 50$ расстояние от фиксированной опоры до гайки, мм;

$l_s = 600$ максимальное расстояние от фиксированной опоры до гайки, мм;

$A = 211.2$ площадь поперечного сечения ходового винта, мм²;

$E = 2.06 \cdot 10^5$ модуль Юнга, Н/мм²;

$K_{s1} := \frac{A \cdot E}{1000 \cdot l_1} = 870.3$ осевая жёсткость ходового винта на расстоянии от фиксированной опоры до гайки 50 мм, Н/мкм;

$K_{s2} := \frac{A \cdot E}{1000 \cdot l_s} = 72.5$ осевая жёсткость ходового винта на расстоянии от фиксированной опоры до гайки 600 мм, Н/мкм;

$\delta_1 := \frac{F a_{max}}{K_{s1}} = 0.459$ величина осевого смещения на расстоянии 50 мм, мкм;

$\delta_2 := \frac{F a_{max}}{K_{s2}} = 5.5$ величина осевого смещения на расстоянии 600 мм, мкм;

$$K := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_N} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_H} \right)} = 33.5$$

22. Погрешность позиционирования, вызванная осевой жёсткостью системы винтовой подачи

$\Delta := \delta_2 - \delta_1 = 5.1$ точность позиционирования, вызванная осевой жёсткостью системы винтовой подачи, мкм;

$\delta = 0.018$ заявленная точность позиционирования, мм;

Расчётная погрешность позиционирования меньше заявленной.

23. Анализ температурной деформации из за выделения тепла

При повышении температуры ходового винта в ходе эксплуатации, его длина увеличивается из-за нагрева, что ведёт к снижению точности позиционирования.

$\rho := 12 \cdot 10^{-6}$ коэффициент теплового расширения, $1/^\circ\text{C}$;

$l_s = 600$ длина хода, мм;

$\Delta t := 5$ изменение температуры, $^\circ\text{C}$;

$\Delta l := \rho \cdot \Delta t \cdot l_s = 0.036$ осевое расширение/сжатие ходового винта при изменении температуры, мм;

Для повышения точности необходимо предусмотреть меры по предотвращению изменения температуры:

- Уменьшение предварительного натяга на ШВП и опорном подшипнике.
- Увеличение шага ШВП и как следствие снижение частоты вращения.

- Подбор соответствующей смазки.
- Принудительное охлаждение периметра ходового винта.

Для недопущения влияния роста температуры от выделения тепла:

- Установка эталонной длины хода ШВП в отрицательное заданное значение.
- Исходя из роста температуры от нагрева в $2^{\circ}\text{C} \dots 5^{\circ}\text{C}$, (-0,02 мм ... -0.06 мм).
- Создание предварительного натяга на валу винта в случае фиксированная опора - фиксированная опора.

24. Анализ крутящего момента

- Момент сил под воздействием внешней нагрузки, Н•мм:

$$T_1 = \frac{F_{a_{max}} \cdot P_h}{2 \cdot \pi \cdot \eta} = 706.8$$

где,

$$F_{a_{max}} = 399.7 \quad \text{максимальна осевая нагрузка, Н;}$$

$$P_h = 10 \quad \text{шаг ходового винта, мм;}$$

$$\eta = 0.9 \quad \text{КПД ШВП;}$$

- Крутящий момент под воздействием предварительного натяга в ШВП ВIF 2010А-3.

$$D_p = 21 \quad \text{межцентровое расстояние до шариков, мм;}$$

$$d_1 = 16.4 \quad \text{диаметр резьбы по впадинам, мм;}$$

$$F_{a_0} = 519.6 \quad \text{приложенный предварительный натяг, Н;}$$

$$\tan(\beta) := \frac{P_h}{D_p \cdot \pi} = 0.152 \quad \text{угол подъёма резьбы, } \beta;$$

$$\beta := \text{atan}\left(\frac{P_h}{\pi \cdot D_p}\right) = 0.15$$

$$T_p := 0.05 \cdot (\tan(\beta))^{-0.5} \cdot \frac{F_{a_0} \cdot P_h}{2 \cdot \pi} = 106.2 \quad \text{эталонный крутящий момент, Н•мм;}$$

- Крутящий момент, требуемый для создания ускорения.

$$J_s = 1.23 \cdot 10^{-3} \quad \text{инерционный момент ходового винта кг·см}^2;$$

$$l_t = 900 \quad \text{расчётная длина ходового винта, мм;}$$

$$i = 2 \quad \text{передаточное отношение редуктора;}$$

$$M = 151 \quad \text{переносимая масса, кг;}$$

$$P_h = 10 \quad \text{шаг ходового винта, мм;}$$

$$A = 211.241 \quad \text{площадь поперечного сечения ходового винта, мм}^2;$$

$$t_1 = 0.1 \quad \text{время разгона, с;}$$

$$t_2 = 20.842 \quad \text{время равномерного движения, с;}$$

$$J_m = 1 \cdot 10^{-3} \quad \text{инерционный момент ротора}$$

$$\text{серводвигателя, кг·м}^2;$$

$$J_{24} = 11.7 \cdot 10^{-6} \quad \text{инерционный момент зубчатого шкива 24-M5-15F}^2, \text{ кг·м}^2;$$

$$J_{48} = 165.7 \cdot 10^{-6} \quad \text{инерционный момент зубчатого шкива 48-M5-15}^2, \text{ кг·м}^2;$$

$$J_{sp} := \frac{J_s \cdot l_t}{10^4} = 1.107 \cdot 10^{-4} \quad \text{инерционный момент ходового винта, кг} \cdot \text{м}^2;$$

²Chiaravalli group, timing pules, catalog

$$J_l := M \cdot \left(\frac{P_h}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot i^2 \cdot 10^{-6} = 1.5 \cdot 10^{-3} \quad \text{инерционный момент нагрузки, кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J := (M) \cdot \left(\frac{P_h}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot i^2 \cdot 10^{-6} + J_{sp} \cdot i^2 + J_{24} + J_{48} = 2.191 \cdot 10^{-3} \quad \text{момент инерции ходового винта и нагрузки, кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$\omega := \frac{2 \cdot \pi \cdot n_s}{60 \cdot i \cdot t_1} = 1.571 \cdot 10^3 \quad \text{угловое ускорение ходового винта, rad/c}^2;$$

$$T_2 := (J + J_m + J_{24} + J_{48}) \cdot \omega \cdot 10^3 = 5.357 \cdot 10^3 \quad \text{крутящий момент для достижения ускорения, Н} \cdot \text{мм}^2;$$

Крутящий момент, требуемый в процессе работы, следующий:
При ускорении, Н•мм²:

$$T_k := T_1 + T_2 + T_p = 6.17 \cdot 10^3$$

При равномерном движении, Н•мм²:

$$T_t := T_1 + T_p = 813.033$$

При торможении, Н•мм²:

$$T_g := T_1 + T_p - T_2 = -4.544 \cdot 10^3$$

25. Крутящий момент серводвигателя

Максимальным требуемым значением является крутящий момент при ускорении вычисленным в предыдущем разделе, Н•мм:

$$T_{max} := T_k = 6.17 \cdot 10^3$$

Мгновенный максимальный крутящий момент серводвигателя переменного тока не может быть меньше T_{max}

26. Эффективное значение крутящего момента

$n = 2.8$ количество возвратно - поступательных движений в минуту, мин⁻¹;

$$t := \frac{60}{n} = 21.429$$

продолжительность цикла, с;

$$t_1 = 0.1$$

время ускорения, с;

$$T_k = 6.17 \cdot 10^3$$

крутящий момент при ускорении, Н•мм;

$$t_2 = 20.842$$

время равномерного движения, с;

$$T_t = 813.033$$

крутящий момент равномерного движения, Н•мм;

$$t_3 = 0.1$$

время торможения, с;

$$T_g = -4.544 \cdot 10^3$$

крутящий момент при торможении, Н•мм;

$$T_s := 0$$

крутящий момент в неподвижном положении, Н•мм;

$$t_4 := t - (t_1 + t_2 + t_3) = 0.386 \quad \text{время в неподвижном положении, с;}$$

эффективное значение крутящего момента, Н•мм;

$$T_{rms} := \sqrt{\frac{T_k^2 \cdot t_1 + T_t^2 \cdot t_2 + T_g^2 \cdot t_3 + T_s^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = 957.6$$

или

$$T_{rms} := \frac{T_{rms}}{10^3} = 0.958 \quad , \text{ (Н•мм);}$$

Номинальный момент серводвигателя должен составлять **0.938** , Н•мм или выше.

27. Инерционный момент

Инерционный момент действующий на серводвигатель равен величине инерционный момент ходового винта и нагрузки, кг•см²:

$$J = 2.191 \cdot 10^{-3}$$

На практике серводвигатель должен обладать инерционным моментом, который равен не менее одной десятой от действующих на него инерционных сил.

Таким образом, инерционный момент серводвигателя переменного тока должен составлять, кг•см²:

$$J_m := \frac{J}{15} \cdot 10^4 = 1.461$$

28. Расчёт мощности нагрузки, Вт:

$$P_0 := \frac{(2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot T_{rms})}{60} = 300.8$$

29. Расчёт мощности серводвигателя для обеспечения требуемой динамики системы, Вт:

$$P_a := \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n_s}{60} \right)^2 \cdot \frac{J_l}{t_1} = 1.5 \cdot 10^3$$

30. Расчёт момента прикладываемого к валу серводвигателя

$F_c = 337$	сила резания, Н;
$M = 151$	суммарная масса, кг;
$\mu = 0.003$	коэффициент качения;
$P_h = 10$	шаг ШВП, мм;
$i = 2$	передаточное отношение редуктора;
$\eta = 0.9$	КПД передачи;
Момент прикладываемый к валу серводвигателя, Н•м;	

$$T_L := \frac{\left((9.8 \cdot M + F_c) \cdot \mu \cdot P_h \cdot 10^{-3} \right)}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta} = 0.005$$

31. Выбор серводвигателя

Условия выбора:

$n_s = 3000$	число оборотов серводвигателя, мин ⁻¹ ;
$T_t := T_t \cdot 10^{-3} = 0.8$	номинальный крутящий момент, Н•м;
$T_{rms} = 0.958$	эффективное значение момента, Н•м;
$T_k := T_k \cdot 10^{-3} = 6.17$	пиковый крутящий момент (при ускорении), Н•м;
$J := J \cdot 10^4 = 21.914$	расчётный момент ходового винта и нагрузки, кг•см ² ;
$J_m = 1.461$	момент инерции серводвигателя (одна пятнадцатая от момента инерции ходового винта и нагрузки), кг•см ² ;

Выбираем серводвигатель **Fulling Motor FL80SV75**, стр.96³:

$P_n := 750$	номинальная мощность серводвигателя, Вт;
$n_m := 3000$	число оборотов вала серводвигателя, мин ⁻¹ ;
$T_n := 2.39$	номинальный крутящий момент, Н•м;
$T_m := 7.14$	пиковый крутящий момент, Н•м;
$J_{m0} := 1.56$	момент инерции вала серводвигателя, кг•см ² ;

³BLDC motor & SERVO motor catalog Fulling motor 2022

33. Проверка выбранного серводвигателя

Необходимый крутящий момент при равномерном движении, Н•м;

$$T_t = 0.813$$

Значение меньше номинального крутящего момента, Н•м;

$$T_n = 2.39$$

Необходимый крутящий момент при ускорении, Н•м;

$$T_p := \frac{2 \cdot \pi \cdot n_m \cdot (J_{m0} + J)}{60 \cdot t_1 \cdot 10^4} + T_t = 8.188$$

Необходимый крутящий момент при замедлении, Н•м;

$$T_s := \frac{2 \cdot \pi \cdot n_m \cdot (J_{m0} + J)}{60 \cdot t_1 \cdot 10^4} - T_t = 6.562$$

Значения меньше пикового крутящего момента, Н•м;

$$T_m = 7.14$$

Нас устраивает.

Эффективное значение крутящего момента, Н•м;

$$T_{rms2} := \sqrt{\frac{T_p^2 \cdot t_1 + T_t^2 \cdot t_2 + T_s^2 \cdot t_3}{t}} = 1.076$$

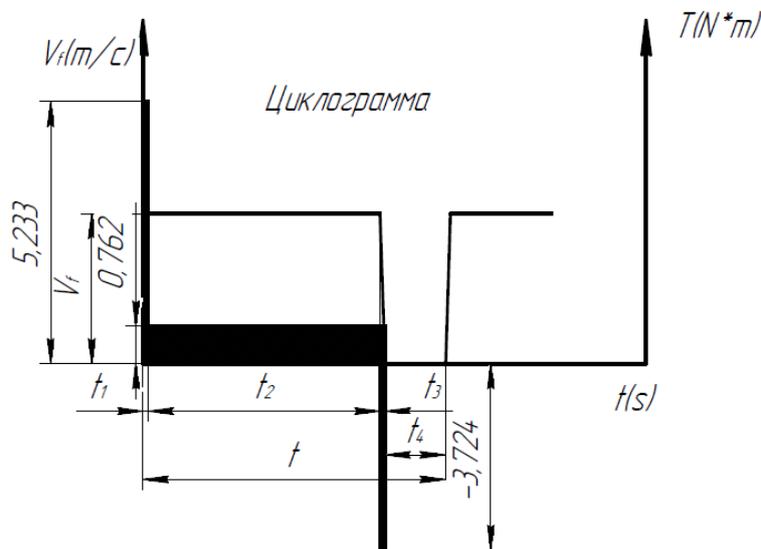


Рисунок 3. Циклограмма скорости и момента

Torque Curve

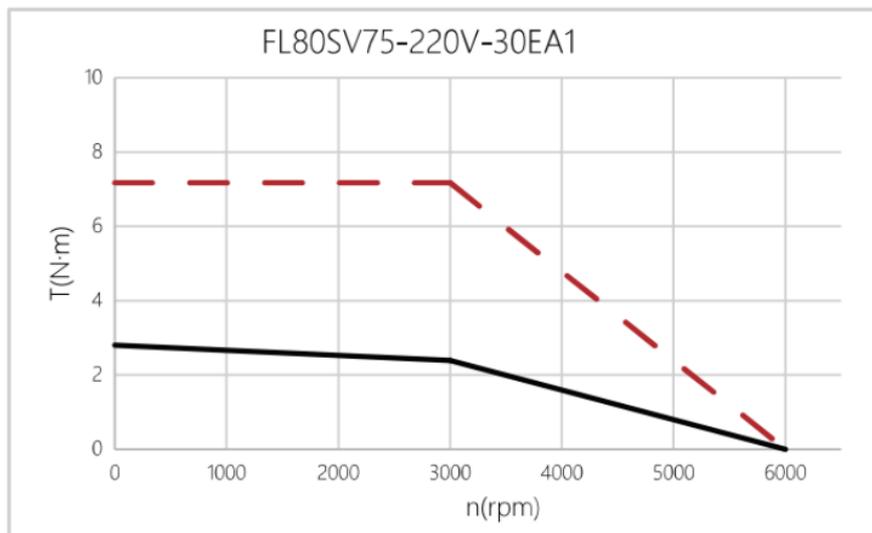


Рисунок 4. График момента на валу двигателя от частоты вращения.

Приложение Д

Отчет о проверке на заимствования №1

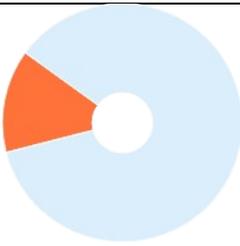
Автор: Плотор Андрей Адольфович

Проверяющий: АріСогр

Организация: Томский политехнический университет



Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://tpu.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ	ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ
<p>№ документа: 1219628 Начало загрузки: 20.05.2023 16:42:01 Длительность загрузки: 00:00:30 Имя исходного файла: TPU1450963.docx Название документа: TPU1450963.docx Размер текста: 91 кБ Символов в тексте: 93377 Слов в тексте: 12317 Число предложений: 512</p>	 <p>Начало проверки: 20.05.2023 16:42:33 Длительность проверки: 00:00:46 Комментарии: не указано Поиск с учетом редактирования: да Проверенные разделы: основная часть с. 1-43, приложение с. 43-108 Модули поиска: ИПС Адилет, Библиография, Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс*, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования издательства Wiley, eLIBRARY.RU, СПС ГАРАНТ: аналитика, СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация, Медицина, Диссертации НББ, Коллекция НБУ, Перефразирования по eLIBRARY.RU, Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика, Перефразирования по Интернету, Перефразирования по Интернету (EN), Перефразирования по</p>

	коллекции издательства Wiley, Патенты СССР, РФ, СНГ, СМИ России и СНГ, Шаблонные фразы, Модуль поиска "tru", Кольцо вузов, Издательство Wiley, Переводные заимствования
--	---

СОВПАДЕНИЯ 14,33% 	САМОЦИТИРОВАНИЯ 0% ЦИТИРОВАНИЯ 0%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ 85,67%
------------------------------	---	---------------------------------

ПОДОЗРИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ <p>Есть подозрения на следующие группы маскировки заимствований: ВСТАВКА</p> <p>на страницах: 37, 86, 89, 105, 106</p>

Совпадения — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.

Самоцитирования — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самоцитирования» — это доля фрагментов текста, отнесенных к самоцитированию, в общем объеме текста.

Цитирования — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированиям относятся также шаблонные фразы; библиография; фрагменты текста, найденные модулем поиска «СПС Гарант: нормативно-правовая документация». Показатель «Цитирования» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальный текст — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отмеченные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

«Совпадения», «Цитирования», «Самоцитирования», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует полному тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности совпадений или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.