

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
 Отделение школы Машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ на точность обработки деталей

УДК 621.914.3-529

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Седов Денис Эдуардович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дерюшева В.Н.	Д.Т.Н., профессор		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Козарь Д.М.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Мартюшев Н.В.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять <i>глубокие естественнонаучные и математические знания</i> для создания нового технологического оборудования и машин.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современного машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных инженерных задач</i>	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой новых изделий с использованием системного анализа и моделирования объектов машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	<i>Разрабатывать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P5	Проводить теоретические и модельные исследования в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК16). Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P6	Внедрять и обслуживать <i>современные высокотехнологические линии</i> автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК-11, 12, 13, 14). Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

Универсальные компетенции		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> для <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК-4, ПК2, ПК- 3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P9	Эффективно работать <i>индивидуально</i> , в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания</i> социальных, этических и культурных аспектов, компетентность в вопросах устойчивого развития	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

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

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
 Отделение школы Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Н.В. Мартюев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ01	Седов Денис Эдуардович

Тема работы:

Влияние жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ на точность обработки деталей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 38-25 от 07.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: малогабаритные фрезерные станки с ЧПУ. Целью данной работы является теоретическое исследование влияния жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ на точность изготовления деталей.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор существующих малогабаритных фрезерных станков с ЧПУ; 2. Исследование влияющих на точность обработки параметров;

	3. Исследование математической модели процесса фрезерной обработки; 4. Подбор оптимальных выявленных параметров, для увеличения точности обработки; 5. Анализ полученных результатов
Перечень графического материала	Графики исследований, математическая модель процесса обработки
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжаника Татьяна Гавриловна, доцент ОСГН, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Антоневич Ольга Алексеевна, доцент ООД, к.б.н.
«Иностранный язык»	Зяблова Наталья Николаевна, доцент ОЯИ, к.ф.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Литературный обзор	
2. Расчеты и аналитика	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш П.Я.	д.т.н., профессор		05.10.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Седов Денис Эдуардович		05.10.2020

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
 Период выполнения 2020/2021 – 2021/2022 учебные года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.11.2020	Обзор источников информации	10
29.11.2020	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	5
30.06.2021	Проведение инженерных расчетов, разработка конструкции объекта	20
25.12.2021	Разработка плана исследования и его проведения, интерпретация результатов исследования	20
14.05.2022	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	5
14.05.2022	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Иностранный язык»	10
20.05.2022	Оформление ВКР и презентационных материалов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Крауиньш П.Я	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Мартюшев Н.В.	к.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ01	Седов Денис Эдуардович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 2000000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 600000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 0,5 баллов из 1.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %. (НК РФ)</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ. Оценка готовности проекта к коммерциализации</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение финансового и научно-технического эффекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Матрица SWOT 5. График проведения и бюджет НТИ 6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		02.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Седов Денис Эдуардович		02.03.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4НМ01		ФИО Седов Денис Эдуардович	
Школа	ИНШПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Тема ВКР:

<i>Влияние жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ на точность обработки деталей</i>	
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>Объект исследования малогабаритный фрезерный станок с ЧПУ Область применения: машиностроение Рабочая зона: офис Размеры помещения 10x20 м Количество и наименование оборудования рабочей зоны: ПК. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: Работа на ПК.</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. 	<ul style="list-style-type: none"> - Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ; - Федеральный закон N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»; - Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда- СП 2.2.3670-20. - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. - ТК РФ Статья 91. Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени. - ТК РФ статья 100. Режим рабочего времени.
<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>Вредные факторы: -Повышенный уровень шума -Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего; -Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; -Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса. Опасные факторы: Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. Средства коллективной защиты:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - применение в составе ПК различных шумоподавляющих компонентов, заглушки, виброопоры (подавляют шум от незначительной вибрации) и т.д.; - использование ионизирующих приборов в помещении. - использование вентиляторов для охлаждения приборов и нормализации процесса воздухообмена в помещении. - установка дополнительного освещения: ламп, светильников и т.д. - размещение зоны отдыха для сотрудников, с целью снижения уровня стресса. <p>Расчет: системы искусственного освещения.</p>
3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u>	<p>Воздействие на селитебную зону: звуковое загрязнение</p> <p>Воздействие на литосферу: твердые металлические отходы</p> <p>Воздействие на атмосферу: испарение смазывающей охлаждающей жидкости</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u>	<p>Возможные ЧС: пожары, взрывы, короткое замыкание и т.д.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Седов Денис Эдуардович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 153 страницы, 39 рисунков, 32 таблицы, 30 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: динамика фрезерования, колебания, управление, скорость резания, влияние параметров обработки.

Объектом исследования является математическая модель процесса фрезерования на малогабаритном станке.

Целью данной работы является теоретическое проверка возможности достижения точности обработки на малогабаритном станке, приближенного к крупногабаритному.

В рамках проведенной работы произведен анализ статей на русском и английском языках по данной теме. Рассмотрены способы повышения точности обработки и качества поверхности за счет изменения параметров резания.

Составлена математическая модель системы, найдены собственные частоты и формы колебаний обрабатываемой детали.

Найдены значения технологических параметров математической модели обработки стальных деталей. Создана программа для чтения, полученного другой программой результата значений и программа для создание различных графиков зависимостей технологических параметров.

Произведен анализ полученных данных.

Условные обозначения и сокращения, нормативные ссылки

В данной работе используются следующие термины с соответствующими определениями:

MATLAB - пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений;

САПР - система автоматизированного проектирования;

ЧПУ - числовое программное управление.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 17.1.1.04-80 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Классификация подземных вод по целям водопользования.

2. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. – Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением N 1).

3. ГОСТ 12.1.004 ССБТ. – Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 11).

4. ГОСТ 12.1.010–76 – Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования.

5. ГОСТ 12.1.003-2014. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

6. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

7. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные факторы. Классификация.

8. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 – Гигиенические требования.

9. СН 2.2.4/2.1.8.556–96 – Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

Оглавление

Реферат	10
Условные обозначения и сокращения, нормативные ссылки	11
Введение.....	15
1. Литературный обзор	17
1.1. Теоретическая часть литературного обзора.....	17
1.2. Сравнительный анализ представленных моделей.....	23
2. Расчеты и аналитика	37
2.1. Определение параметров станка	37
2.2. Определение параметров обрабатываемой заготовки	39
2.3. Подбор режимов обработки.....	42
2.4. Исследование математической модели процесса фрезерной обработки	44
2.5. Считывание данных с помощью MATLAB	47
2.6. Анализ поведения технологических характеристик во времени при разной скорости резания	49
Заключения раздела	56
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	58
3.1. Предпроектный анализ.....	59
3.1.1. Анализ конкурентных технических решений.....	59
3.1.2. SWOT-анализ	61
3.1.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации	64
3.2. Планирование научно-исследовательских работ	66
3.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	66
3.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	67

3.2.3. Разработка графика проведения проектирования	68
3.3. Цели и результат исследования.....	73
3.3.1. Организационная структура проекта.....	73
3.3.2. План управления коммуникациями проекта	74
3.3.3. Реестр рисков проекта.....	74
3.3.4. Бюджет научного исследования.....	75
3.3.5. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)	75
3.3.6. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.	76
3.3.7. Основная заработная плата.....	77
3.3.8. Дополнительная заработная плата.....	78
3.3.9. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	79
3.3.10. Накладные расходы	79
3.3.11. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.....	80
3.3.12. Оценка абсолютной эффективности исследования	85
3.3.13. Интегральный показатель финансовой эффективности.	86
3.3.14. Интегральный показатель ресурсоэффективности	87
Заключение раздела	88
4. Социальная ответственность.....	89
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	89
4.1.1. Правовые нормы трудового законодательства	89

4.1.2. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	90
4.2. Производственная безопасность	93
4.3. Анализ выявленных вредных и опасных факторов	94
4.3.1. Повышенный уровень шума.....	94
4.3.2. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего	95
4.3.3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	95
4.3.4. Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.....	97
4.3.5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	99
4.4. Экологическая безопасность	100
4.4.1. Воздействие на селитебную зону.....	100
4.4.2. Воздействие на атмосферу.....	100
4.4.3. Воздействие на литосферу.....	100
4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	101
Выводы по разделу	101
Список использованных источников	103
Приложение А	107
Приложение Б.....	108
Приложение В	134

Введение

В современном мире все чаще встречаются малогабаритные станки различных направленностей, токарные, шлифовальные, фрезерные. Спрос подобного оборудования получило свою актуальность благодаря малым мастерским и цехам с небольшими объемами продукции. Главная цель предприятий – окупить закупленное оборудование.

Большое количество заказов на металлообрабатывающие предприятия — это небольшие по габаритным размерам детали, порядка 200x300x400 мм, это могут быть различные детали, различной конфигурации, как тела вращения, для токарной обработки, так и изделия, подходящий под фрезерную обработку.

Оптимальный вариант изготовления большого количества одинаковых деталей – обрабатывающие центры с ЧПУ. Цена таких центров весьма велика - 10-12 млн. руб. Обслуживание таких центров требует большого количества ресурсов, в том числе и человеческих, а также, оборудованное специальным образом, помещение. Следовательно, окупаемость дорогостоящего оборудования не быстрая, а целесообразность покупки имеется только тогда, когда уже есть контракты на большие объемы.

Так же, в настоящее время ввиду различных санкций в сторону России, поставки зарубежного оборудования затруднены, и как следствие обслуживание уже имеющихся станков усложняется из-за недостатка импортных деталей и их стоимости.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что в условиях небольшого предприятия и обстановке на рынке машиностроения малогабаритные станки являются отличным решением.

Стоимость малогабаритных станков в разы меньше стоимости крупногабаритных станков, это порядка 0,5-1 млн. рублей. Точность обработки уступает крупногабаритным обрабатывающим центрам, из-за гораздо меньшей жесткости и составляет приблизительно 0,010-0,015 мм. Данной величины достаточно, для изготовления большинства изделий, если не брать в расчет сверхточные детали, которые необходимы для медицинского оборудования или военной промышленности.

В данной работе будет рассмотрена зависимость точности обрабатываемой детали от жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ и режимов резания. Данное исследование может быть полезно для проектирования новой модели станка.

Моделирование процесса обработки будет производиться на ЭВМ, что позволит шире исследовать влияние перечисленных параметров на точность и качество обработки деталей.

Целью данной работы является определение зависимости точности заданных размеров при обработке, от жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ и выбранных режимов резания.

1. Литературный обзор

1.1. Теоретическая часть литературного обзора

Фрезерование – вид механической обработки резанием плоскостей, лысок и пазов. При данном виде обработки режущий инструмент – фреза вращается, а заготовка жестко зафиксирована на рабочем столе. В процессе обработки заготовки на нее действует режущий инструмент (фрезер), который убирает подлежащий удалению слой металла, создавая определенную силу резания.

Расчет процесса производится на основе сведений об режущем инструменте, поверхности заготовки и мощности оборудования. Качество получаемой поверхности детали зависит от оптимально подобранных параметров. Режущего инструмента – существует большое количество видов, зависящих от назначения фрезы, материала заготовки, характеристик материала заготовки.

На современном рынке широко представлены малогабаритные фрезерные станки с ЧПУ, отличающиеся компактностью и высокой функциональностью, пользуются особой популярностью у компаний, которые производят различную продукцию мелкими сериями. Удобно использовать такие станки и для оснащения домашней мастерской, если в ней часто приходится выполнять обработку заготовок из металла, а также других материалов.

Универсальные фрезерные станки и станки, оснащенные системой числового программного обеспечения, предназначены для обработки заготовок, выполненных из различных материалов, при помощи вращающегося режущего инструмента. Особенностью фрезерной обработки является статичное положение заготовки на протяжении всего процесса обработки. Команды на технологические перемещения инструмента задаются либо вручную, либо поступают от специальной электронной системы — ЧПУ. Кроме технологических операций, описываемых выше, такой станок позволяет выполнять расчет расстояния между отверстиями, которые необходимо выполнить в обрабатываемой заготовке.

Компактные модели фрезеровочных станков, называемых также малогабаритными или настольными, выделяются из общей массы некоторыми особенностями конструкции. Модели таких станков имеют между собой некоторые различия, в зависимости от завода производителя и конструкторского бюро. В основном эти различия сводятся к техническим характеристикам и незначительным функциональным изменениям, но основной принцип работы оборудования и конструктивные особенности остаются неизменными.

Для выполнения основных работ по обработке металла на малогабаритном фрезерном станке понадобятся инструменты трех разных групп: дисковые, цилиндрические и торцевые. Чтобы обработать отверстие в детали в шпиндель фрезерного станка можно установить развертку, метчик, сверло и прочие необходимые инструменты. Для нанесения сложной разметки или рисунка на поверхности изделия потребуется установка гравировальной головки.

Как правило, на малогабаритных станках производят обработку небольших деталей из металла и композитных материалов, таких как пластик, текстолит и т.д.. Поэтому все необходимые перемещения рабочих органов осуществляются с помощью шарико – винтовых передач, которые могут обеспечить необходимую плавность хода и высокую необходимую точность.

Числовая программная система управления малогабаритным фрезерным станком помещается в небольшой наружный короб. Такое конструкторское решение помогает надежно защитить хрупкое оборудование от возможных загрязнений и вибраций, а также облегчает техническое обслуживание. Оставшиеся узлы агрегата размещаются на станине станка, которой может быть цельнолитой или сборной.

Отдельного внимания заслуживают габаритные размеры данных станков. Малогабаритные фрезерные станки с рабочим полем до 400×400 мм используются в handmade сфере и помимо маленьких габаритов имеют также минимальную мощность и ограниченный функционал;

Настольные фрезеры с размером зоны обработки 600×900 мм. Подобные модели способны уместиться на рабочем столе способны взаимодействовать с любыми материалами и выполнять все виды работ, но из-за невысокой мощности работают довольно медленно, поэтому подходят только для изготовления штучных или малосерийных изделий. Приобретаются преимущественно для личного пользования или мелкого производства.

Среднеформатные станки — габариты стола 1300×1300 или 1300×2500 мм. Профессиональное оборудование с мощным шпинделем, подходящее для любых работ. Используется на всех малых и средних предприятиях.

Крупногабаритное оборудование — мощные станки с большим рабочим полем (до 2000×3000 мм) и высокой производительностью для работ с большими объемами выпускаемой продукции. Используются на крупных металло- и деревообрабатывающих предприятиях.

Фрезерные обрабатывающие центры — полностью автоматизированные многофункциональные комплексы, высота которых превышает человеческий рост. Предназначены для работы с массивными заготовками.

Малогабаритные станки имеют ряд преимуществ по отношению к полноразмерным станкам:

- Компактный размер позволит максимально эффективно использовать рабочие площади;
- Доступная стоимость окажется приятной неожиданностью по сравнению со станком обычных размеров;
- Многофункциональность многих моделей дает возможность проводить широкий спектр работ с металлом, от фрезерования и расточки до финальной шлифовки и обработки;
- Система ЧПУ сократит время наладки оборудования и позволит проводить обработку изделий сложной конфигурации с высокой точностью;

Многие изготовители оснащают фрезерные станки на базе ЧПУ разнообразными модификациями вплоть до специального оборудования для гравировальных работ. Такой станок позволит не только производить стандартный перечень работ по обработке металла, но и расширит этот список до нанесения сложной разметки, узоров и иных изображений на поверхность заготовки.

Одним из основных преимуществ малогабаритных станков является их компактный размер, благодаря которому можно осуществить высокоэффективное использование их в условиях ограниченного рабочего пространства. Так же доступность и стоимость режущего инструмента, по сравнению с оснасткой для обычных станков. Данное оборудование отличается неплохой функциональностью, что позволяет выполнять различные виды работ по обработке, такие как сверление, фрезерование, расточку, гравировку и т.д. Систему числового программного обеспечения, которая отвечает за выполнение технологических операций и переходов, на подобном станке позволяет осуществлять обработку деталей сложной конфигурации и делать это с высокой точностью и производительностью.

Для работы малогабаритного станка на базе ЧПУ потребуются стабильное подключение к электрической сети. Большинству моделей для полноценной работы достаточно напряжения 220 В. Благодаря такому низкому требованию к питанию, данный агрегат подойдет не только для производственного предприятия, но и для небольшой домашней мастерской, кузни или гаража.

Обработка металлических заготовок осуществляется путем перемещения вращающегося режущего инструмента по осям X, Y и Z. В некоторых моделях настольных станков перемещение по осям X и Z производится путем движения рабочего стола агрегата. Основным рабочим органом любых фрезерных станков является шпиндель, количество оборотов которого регулируется с помощью бесступенчатой схемы.

Для работы станка на базе ЧПУ, как малогабаритного, так и многофункционального потребуются стабильное подключение к электрической сети. Для большинства моделей малогабаритных фрезерных станков с ЧПУ для полноценной работы достаточно напряжения в 220В с частотой тока 50 Гц, тогда как для большинства многофункциональных фрезерных станков с ЧПУ, потребуется 380В с частотой тока 50 Гц.

В условиях ограниченного рабочего пространства малогабаритный станок будет оптимальным решением для обеспечения бесперебойного производственного процесса, так как его габариты в среднем составляют 800 x 800 x 900, среднее габариты многофункционально станка составляют 3000 x 2100 x 1950.

По сравнению с крупногабаритным станком, малогабаритный станок более мобилен, т.е. в случае перебазировки предприятия его гораздо проще транспортировать. Также для установки малогабаритного станка не требуется никаких подготовок места. В то время, как для установки обычных станков требуется учесть подведение электричества, бетонное основание, чаще всего подготавливаемое специально и достаточно место вокруг станка чтобы его обслуживать.

В случае поломки станка – малогабаритный станок проще обслужить и заменить какие-либо расходные детали 1 человеку, ввиду небольших габаритов и масс комплектующих. В случае с крупногабаритным станком обслуживание как правило проводит минимум 2 человека, либо целая ремонтная бригада.

Существенные отличия также присутствуют в технике безопасности при работе операторов. Вращающиеся элементы малогабаритных станков меньше по габаритным размерам и, как следствие могут нанести меньшей ущерб организму человека. Помимо этого, все движущееся части станка находятся в поле зрения оператора, что не всегда так на крупногабаритных станках.

1.2. Сравнительный анализ представленных моделей

Обзор станка ЧПУ «Роутер 3220»:



Рисунок 1 - Роутер 3220

Профессиональный фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ в настольном исполнении.

Малогабаритная модель Роутер 3220 позволяет осуществлять высокоточную обработку различных материалов по трем и четырем координатам.

Доступная цена делает Роутер 3220 отличным решением для малого бизнеса.

Рабочее поле	
Размер рабочего поля, мм	320 x 210 x 220
Размеры рабочего стола, мм	320 x 210 x 38
Нагрузка на стол, кг	до 120
Материал	Д16Т
Осевое усилие, кгс	146.0 - 266.0
Материалы фрезерования	до 47 HRC

Шпиндель	
Мощность, кВт	2.2
Частота вращения шпинделя, об/мин	3000 - 24000
Размер просвета по ось Z, мм	125
Тип охлаждения шпинделя	воздушный
Тип цанги	ER20
Смена инструмента	ручная
Диаметр инструмента, мм	до 13.0
Вес инструмента, кг	до 0.8
Привод	
Тип передачи по оси X	ШВП 16 x 5
Тип передачи по оси Y	ШВП 16 x 5
Тип передачи по оси Z	ШВП 16 x 5
Тип привода по осям X, Y, Z	Шаговые прецизионные двигатели
Крутящий момент на ось XYZ, Нм	2.4
Точность позиционирования, мкм / мм	47 / 300
Точность повторяемости, мкм / мм	52 / 300
Скорость перемещения, мм / с	60
Драйвер шагового двигателя	Leadshine
Тип передачи по оси X	ШВП 16 x 5
Управление	
Язык управления	G-code, M-code (ISO)
Система управления	LinuxCNC
Питание	
Напряжение, В	220
Частота тока, Гц	50

Обзор фрезерного станка с ЧПУ PROF CNC 4030 MA M LITE (ПО МЕТАЛЛАМ):



Рисунок 2 – Станок PROF CNC 4030 MA M LITE

Технические характеристики:

Рабочие зоны станка X,Y,Z	400x300x150мм
Разрешающая способность	0.01 мм
Точность	0.052мм
Движение по осям X,Y,Z	Привод с шариковой винтовой парой D16 шаг 10мм
X-Y-Z направляющие	Профильные линейные TRH
Максимальная скорость	До 8000 мм/мин
Мощность шпинделя	1,5KW
Цанга	ER11
Скорость вращения шпинделя	24 000 об/мин
Мощность инвертера	1,5KW
Приводной двигатель	Шаговый
Напряжение	AC220V/50-60Hz
Код команды	G-code
Интерфейс	LPT
Система смазки	Периодическая ручная
Управление	Компьютер

Обзор станка с ЧПУ Роутер 3525:

Роутер 3525 - недорогой фрезерный станок с ЧПУ настольного типа.

Станок предназначен для фрезерной и гравировальной 3d-обработки малогабаритных деталей из материалов твёрдостью до 49 HRC: металлы, сплавы, композиты и др.



Рисунок 3 – Роутер 3525

Рабочее поле	
Размер рабочего поля, мм:	360 x 230 x 140
Размеры рабочего стола, мм	300 x 200 x 30
Нагрузка на стол, кг	до 50
Материал	Ст3/45
Осевое усилие, кгс	90.0 - 120.0
Материалы фрезерования	до 49 HRC
Шпиндель	
Мощность, кВт	0.8
Частота вращения шпинделя, об/мин	3000 - 24000
Размер просвета по ось Z, мм	145
Тип охлаждения шпинделя	система жидкостного охлаждения
Тип цанги	ER11
Смена инструмента	ручная
Диаметр инструмента, мм	до 7.0
Вес инструмента, кг	до 0.1
Привод	
Тип передачи по оси X	ШВП 16 x 5 HIWIN
Тип передачи по оси Y	ШВП 16 x 5 HIWIN
Тип передачи по оси Z	ШВП 16 x 5 HIWIN
Тип привода по осям X, Y, Z	Шаговые прецизионные двигатели
Крутящий момент на ось XYZ, Нм	2.4
Точность позиционирования, мкм / мм	47 / 300
Точность повторяемости, мкм / мм	52 / 300
Скорость перемещения, мм / с	50
Драйвер шагового двигателя	Leadshine
Тип передачи по оси X	ШВП 16 x 5
Управление	
Язык управления	G-code, M-code (ISO)
Система управления	Контроллер DDCSV
Питание	
Напряжение, В	220
Частота тока, Гц	50

Обзор гравировального станок Roland DGSHAPE Desktop Engraver DE-

3:



Рисунок 4 - Roland DGSHAPE Desktop Engraver DE-3

Гравировальная машина DE-3 – это результат 30 летнего опыта компании Roland в производстве гравировальных и фрезерных машин. Эта машина технологичная, удобная, быстрая и работа с ней будет легкой даже для новичка. С новой лазерной системой выставления нуля, ethernet-подключением и регулятором глубины, новый DE-3 это идеальное решение для выхода на рынок высокоточной гравировки на различных материалах и изделиях.

С помощью лазерной метки легко и удобно находить нулевую точку на материале или изделии.

Можно установить специальный наконечник на шпиндель для автоматического контроля изогнутой поверхности, что обеспечит точное соблюдение глубины гравировки.

Оснащенный безщеточным шпинделем с частотой вращения 20,000 об/мин новый DE-3 определяет кривизну поверхности и зону обработки, чем делает производственный процесс еще более быстрым.

Станок можно поставить удаленно и подключить по офисной локальной сети. По этой схеме можно подключить одновременно несколько станков.

Пульт позволяет выполнять базовые операции без использования компьютера. Данные обработки должны быть отправлены с компьютера, но могут быть сохранены в контроллере даже после его отключения.

Технические характеристики:

- Рабочая область: 305 мм x 230 мм
- Зона обработки X, Y, Z: 305 мм × 230 мм × 40 мм
- XYZ система приводов: Шаговые двигатели, 3-осевой контроль
- Скорость по осям XY: 0.1-60 мм/сек
- Скорость по оси Z: 0.1-30 мм/сек
- Прогр. разрешение: 0.01 мм/шаг
- Механическое разрешение XYZ: 0.00125 мм/шаг
- Мотор шпинделя: Бесщеточный
- Скорость шпинделя: 5000-20000 об/мин
- Зажим инструмента: Цанговый
- Толщина материала: До 40 мм(38 мм с регулятором глубины)
- Подключение: USB или Ethernet (10 BASE-T/ 100 BASE-TX)
- Подключение: Прогр. язык RML-1
- Вольтаж: AC 100 - 240V ±10%, 50/60 Hz
- Сила тока: 1.0 А
- Энергопотребление: 80 W
- Уровень шума: в работе 60
- Уровень шума: в ожидании. 40 dB
- Габариты: 616 мм × 587 мм × 390 мм
- Вес станка: 35 кг
- Условия работы: Температура 5 - 40 °С, влажность 35 - 80% (без конденсата)

Обзор гравировального станка ROLAND METAZA MPX-95 (MPX 95):



Рисунок 5 - ROLAND METAZA MPX-95 (MPX 95)

Гравировальный станок ROLAND METAZA MPX-95 разработан специально для ювелиров и изготовления сувениров. Высокое разрешение дает возможность делать качественную гравировку на большом количестве материалов.

Основные преимущества ROLAND METAZA MPX-95:

Рабочая зона для MPX-95 составляет 80 x 80 мм при толщине до 40 мм. На рабочий стол можно поместить изделие практически любой длины;

Модель METAZA MPX-95 оснащена гравировальной иглой с алмазным наконечником, которая с высокой скоростью и точностью «чеканит» логотипы, тексты, фотографии на различных изделиях;

Устройство способно наносить надписи на твердые металлы, включая железо, титан, нержавеющей сталь, золото и серебро, а также на синтетические материалы типа акрила;

В комплектацию MPX-95 также входит ПО Dr. Engrave, поддерживающее импорт переменных данных (файлы txt и csv). Это удобно, если нужно подготовить партию шильдиков с серийными номерами или данными изделий.

Технические характеристики:

- Обрабатываемый материал: Нержавеющая сталь, железо, платина, золото, серебро, бронза, медь, латунь, алюминий, оргстекло, акрил, и др. (твердость по Викерсу [HV] обрабатываемой поверхности должна составлять не более 200);
- Размер загружаемого материала: Максимум 100 мм (ширина) x 200 мм (длина) x 40 мм (толщина), или 200 мм (ширина) x 100 мм (длина) x 40 мм (толщина) ;
- Площадь гравировки: 80 мм x 80 мм;
- Разрешение: 529 dpi (высокое разрешение), 353 dpi (фото), 265 dpi (текст), 1058 dpi (векторная графика);
- Направление печати: Однонаправленная или двунаправленная печать (устанавливается с помощью драйвера Windows);
- Скорость печати (по умолчанию): 50 мм/сек. (фото), 33 мм/сек. (высокое разрешение/текст), 16 мм/сек. (векторная графика);
- Соединение: USB (совместимо с универсальной последовательной шиной версии 1.1);
- Требования к электропитанию: Идущий в комплекте адаптер переменного тока: переменный ток от 100 В до 240 В $\pm 10\%$ 50/60 Гц; Машина: постоянный ток 19 В, 2,1А;
- Энергопотребление: Примерно 21 Вт;
- Уровень шума: Не более 70 дБ (А);
- Требования к окружающим условиям: Температура: 10 - 30°C, влажность: 35 - 80% (без конденсата);
- Габариты: 286 мм (Ш) x 383 мм (Д) x 308 мм (В);

- Вес: 12 кг.

Обзор гравировально-фрезерной машины с ЧПУ МГФН-01:



Рисунок 6 - МГФН-01

МГФН-01 - машина гравировально-фрезерная настольная с программным управлением (станок с ЧПУ), предназначенная для 2D/3D обработки таких материалов как: мягкие металлы (например: латунь), дерево, МДФ, фанера, пластик и т.п.

Тип машины - вертикально-фрезерная, портального типа с программным управлением, предназначена для выполнения операций фрезерования, сверления, гравировки и резки.

Машина производит обработку заготовки по программе, благодаря G-коду, через USB-порт ПК, при помощи управляющей станком бесплатной программы, устанавливаемой на ОС Windows, либо Linux. Станок подключается к источнику переменного тока однофазной сети 220В – обычной розетки, и не требует дополнительных коммуникаций, таких как воздушная магистраль и промышленная трехфазная сеть. Номинальная потребляемая мощность, не более 800 Вт.

Машина МГФН-01 разрешена к обращению на территории Таможенного союза и соответствует требованиям технических регламентов.

Особенности машины

- использует командный язык G-code;
- используется ручная смена инструментов для удешевления конструкции;
- конструкция ограждения машины, обеспечивает оперативный доступ к шпинделю для зажима инструмента и к рабочему столу для закрепления заготовки;
- оснащена лотком для удаления стружки и не требует дополнительного подключения пылесоса;
- выполнена в виде единой конструкции с интегрированным блоком автоматики и управления;
- обеспечивает высокую точность обработки за счет использования в конструкции полированных валов большого диаметра и шаро-винтовых пар диаметром 16 мм;
- перемещение суппортов обеспечивают шаговые двигатели (ток фазы 2,5 А), управляемые контроллерами;
- рабочий стол - дюралевая плита с т-образными пазами для удобства крепления заготовок;
- имеет закрытое кабинетное ограждение и датчики открытия (специальный кожух для защиты от случайного доступа к рабочей зоне во время работы, с автоматическим отключением машины при попытке открыть крышку кожуха);
- оснащена видимым с большого расстояния индикатором работы, сигнализирующем об аварийной ситуации;
- машина имеет специальные присоединительные устройства для заземления;
- включение машины блокируется с помощью ключа.

Обзор гравировального станка ROLAND METAZA MPX-90M (MPX 90M):



Рисунок 7 - ROLAND METAZA MPX-90M (MPX 90M)

Гравировальный станок ROLAND METAZA MPX-90M разработан для нанесения штрих-кодов на медицинских инструментах - скальпелях, пинцетах, щипцах и другом хирургическом оборудовании. Возможность постоянно отслеживать инструменты повышает уровень безопасности для пациентов в больницах. Кроме матричных и штрихкодов ROLAND METAZA MPX-90M способен наносить номера, логотипы и изображения практически на любые металлические поверхности.

Основные преимущества ROLAND METAZA MPX-90M:

Для работы с ударным принтером MPX-90 не нужно специального обучения;

Для быстрого и четкого нанесения надписей на титан, нержавеющей сталь и другие твердые металлы MPX-90M использует иглу с прочным алмазным наконечником. Она «чеканит» небольшие точки площадью от 1 мм², не оставляя пыли;

MPX-90M не меняет свойств металла, из которого изготовлен инструмент. Поэтому надписи не подвержены коррозии.

Основные сферы применения:

Для нанесения на медицинские инструменты матричных кодов DataMatrix размером от 1 мм;

Механическая настольная модель печатает штрихкоды UDI (Unique Device Identification) на скальпелях, пинцетах, щипцах и другом хирургическом оборудовании;

Возможность постоянно отслеживать инструменты повышает уровень безопасности для пациентов в больницах;

Помимо матричных и штрихкодов модель MPX-90M способна наносить номера, логотипы и изображения практически на любые металлические поверхности.

Обзор фрезерного станка ЧПУ AMAN AM30 Jewel:

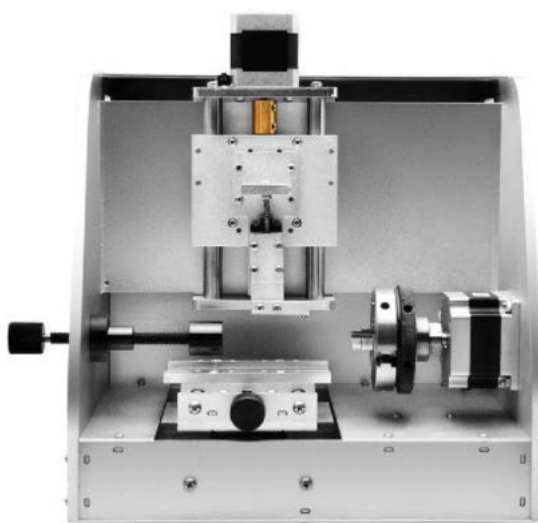


Рисунок 8 - AMAN AM30 Jewel

AMAN AM30 Jewel – станок с ЧПУ, совмещающий в себе гравировальный станок и ударный фотопринтер. Хорошо обрабатывает металлические предметы (шильдики, зажигалки, ложки, кольца и пр.). Отличный помощник в ювелирном деле и персонализации предметов.

Смена режима работы осуществляется сменой соответствующих головок-насадок.

В режиме гравирования биток с алмазным наконечником царапает поверхность предмета. Благодаря пружинному механизму, биток адаптируется под неровную поверхность предмета. Это несомненно преимущество перед типичным гравированием на станках с жестко посаженным шпинделем, где неровность поверхности требуется заранее проектировать в САМ-системе (в случае отсутствия специализированной системы адаптации к поверхности).

Станок оснащен поворотным устройством, что позволяет выполнять гравировку не только предметов на плоскости, но и гравировать ручки и кольца. Особенности конструкции позволяют выполнять гравировку колец как с внешней, так и с внутренней стороны.

В режиме ударного фотопринтера биток "выбивает" изображение точками. Это позволяет перенести на поверхность фотоизображения.

Достаточно легкий и компактный, подключается через USB-порт.

Технические характеристики:

- Плоская рабочая площадка: 80 x 80 x 70 мм;
- Обработка колец: 10-40 мм (внеш/внутр. диаметр), ширина обработки - 1-20 мм;
- Разрешение, мм: 0.025 мм (25 микрон);
- Операционная система: Window 2000/XP/7;
- ПО в комплекте: ArtCut Engrave (совместим почти с любой САМ-системой);

- Интерфейс: USB2.0;
- Габариты (мм) / Вес (кг): 290x270x280/20;
- Основные виды обработки: гравировка, ударный фотопринтер;

Сферы применения

Настольный станок с ЧПУ Роутер 3525 позволяет осуществлять фрезерную и гравировальную обработки сложно профильных поверхностей матриц, пуансонов, точной механики, клише, штампов, ножевых полотен, пресс-форм, профилировочных роликов, мастер-моделей.

Роутер 3525 применяется при гравировальном нанесении скелетных, художественных и военных шрифтов по ГОСТ на поверхности со сложной геометрией.

Примеры режимов обработки:

изготовление пресс-формы из Д16Т: твердосплавная трехзаходная фреза 6 мм, подача 1200 мм/мин, съём 5,0 мм за проход;

фрезерование Ст У8А: твердосплавная двухзаходная фреза 6 мм, подача 1400 мм/мин, съём 0,2 мм за проход.

2. Расчеты и аналитика

2.1. Определение параметров станка

Для исследования, проводимого в данной работе необходимо определить средние значения малогабаритных фрезерных станков с ЧПУ, таких как масса станка, масса шпиндели и их жесткости.

В рамках данной работы рассматривается фрезерный станок портального типа (Рисунок 9).

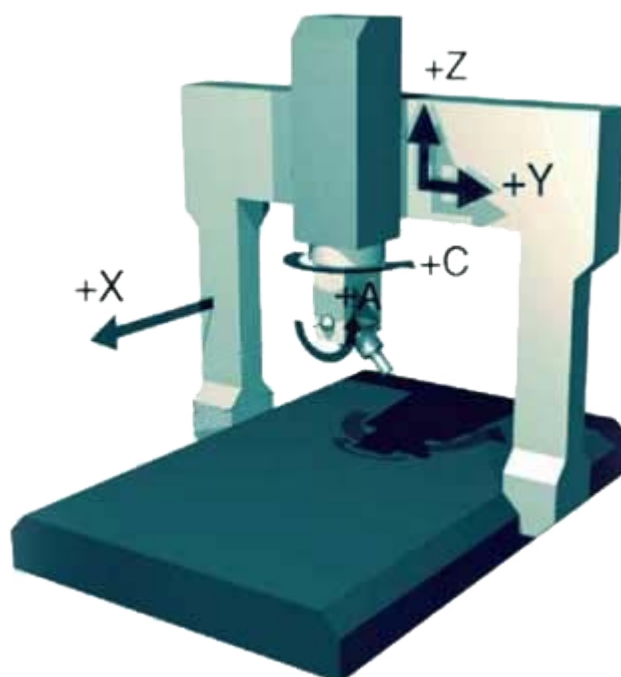


Рисунок 9 – Фрезерный станок портального типа

Станки данного типа в большинстве случаев используются при создании малогабаритных станков.

Конструкционно портал состоит из двух колонн, на которых крепятся края горизонтальной балки, по направляющим этой балки (также называемой "поперечная") перемещается шпиндельная головка с вертикальным шпинделем, которая, в зависимости от конкретной конструкции фрезерного станка, может иметь кроме вертикального хода способность поворачиваться и/или наклоняться в одной, либо двух вертикальных плоскостях. Для ускорения процесса обработки количество шпинделей может отличаться от 1, например – быть равным 3-м, когда обе боковые колонны порталного фрезерного станка тоже имеют по одному шпинделю. В случае малогабаритных станков применяется 1 шпиндель.

Вне зависимости от подвижных частей фрезерного станка – портал или рабочий стол, большой объем обработки заготовки и ее вес, части станка требуют от шпиндельного узла работу при высоких нагрузках, а перемещения по всем осям порталного фрезерного станка сопряжены с большими усилиями по преодолению сил трения и деформации. Беря в расчет вышеуказанные условия, необходимо решить ряд инженерных задач, по проектированию такого оборудования, чтобы обеспечить должное качество обработки деталей. Для решения подобных задач, используют всевозможные новшества по обеспечению повышенной жёсткости конструкции, минимизации трения, износа деталей, принудительного охлаждения отдельных модулей станков и пр. Поэтому при относительной внешней простоте фрезерные станки порталного типа подчас представляют из себя достаточно сложные инженерные комплексы.

Таблица 1 - Характеристики малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ

Параметр станка	Диапазон значений
Максимальные габариты обрабатываемой заготовки, мм	350 x 250 x 250
Частота вращения шпинделя, об\мин	2500 – 28000
Масса станка, кг	35 – 300
Масса шпинделя, кг	1 – 10
Жесткость станка, КН\мкм	9,8

Жесткость шпиндельного соединения, КН\мкм	6-8
Диаметр инструмента, мм	до 10

2.2. Определение параметров обрабатываемой заготовки

В рамках данного исследования была выбрана заготовка из стали AISI 1045, которая является аналогом стали 45. В процессе фрезерования заготовка зажимается в тисках. Создаются усилия, имитирующие процесс врезания режущего инструмента – фрезы, в заготовку. Симуляция полученных нагрузок производилась в среде SolidWorks Simulation. Ниже на изображениях представлена выбранная заготовка, смоделированная в SolidWorks.

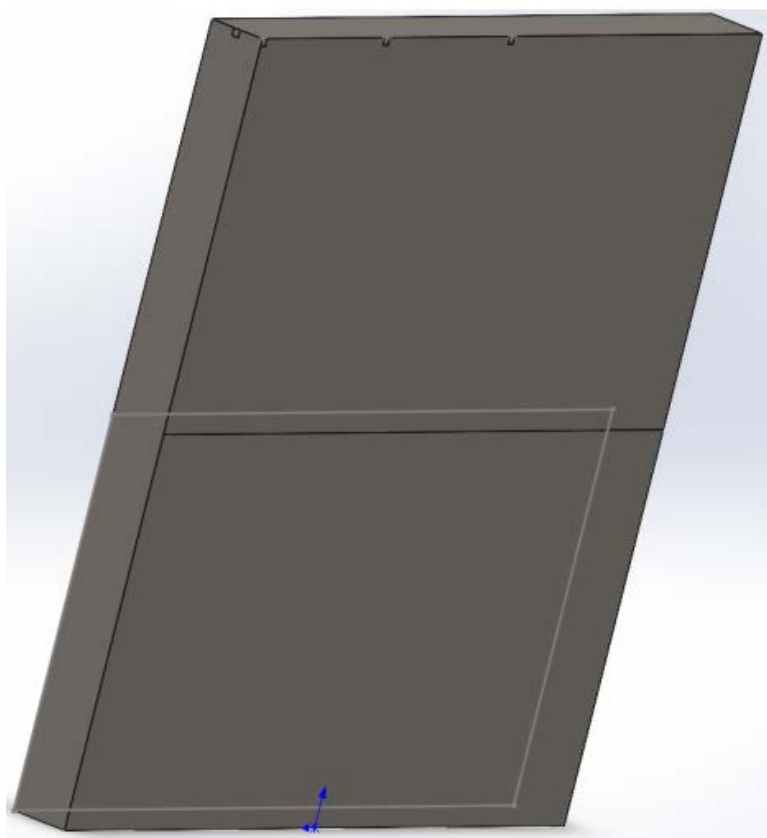


Рисунок 10 - 3D модель выбранной заготовки

Характеристики выбранного материала представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики стали AISI 1045

Теплопроводность λ ,	Вт/(м · град)	48 при 100 град
Плотность ρ ,	кг/см ³	7826
Предел прочности σ_b ,	МПа	610
Предел текучести σ_t ,	МПа	360
Относительное удлинение δ ,	%	15
Поперечное сужение ψ ,	%	15-20
Модуль упругости	ГПа	200
Ударная вязкость	кДж / м ²	110-123
Модуль сдвига G	ГПа	78
Удельная теплоемкость C,	Дж/(кг · К)	473
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$	К ⁻¹	11.9

После определения основных параметров обрабатываемой заготовки необходимо расставить место крепления заготовки. Результат представлен на рисунке 11.

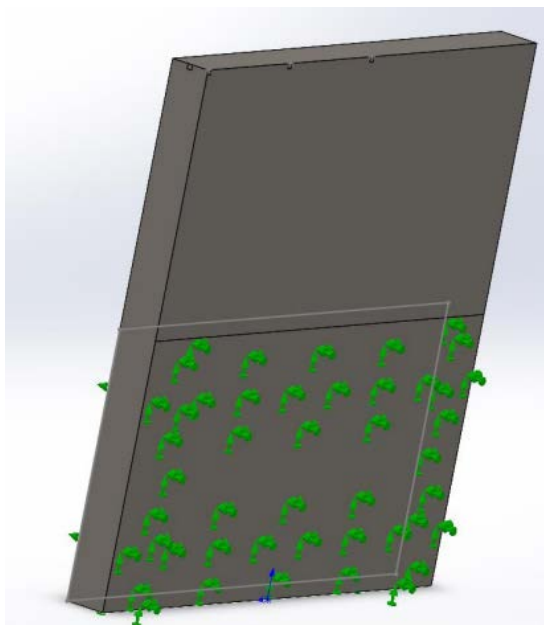


Рисунок 11 – Крепление обрабатываемой заготовки

В рамках данной работы исследуется зависимость жесткости непосредственно станка. Проведем исследования для заготовок 3-х толщин, путем приложения силы в системе SolidWorks Simulation. Результаты приведены на рисунках ниже.

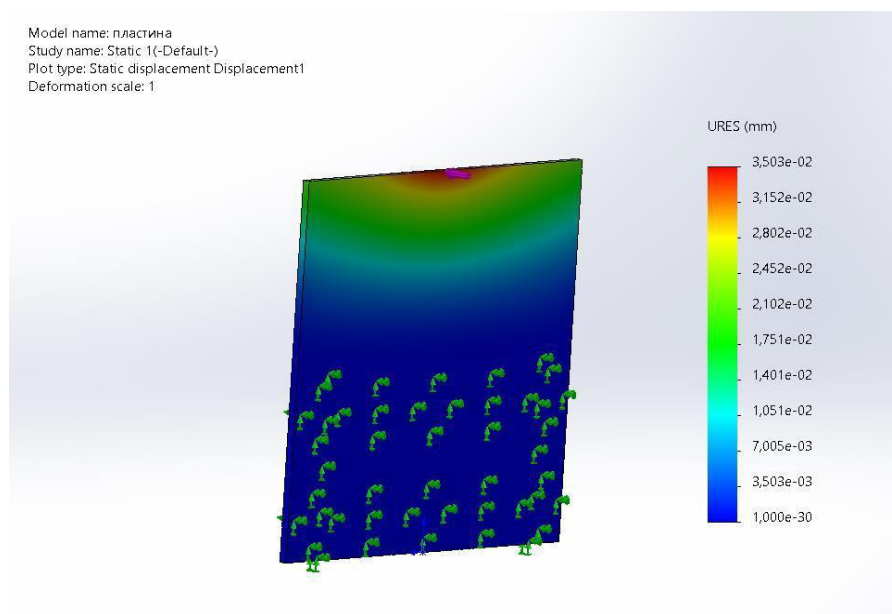


Рисунок 12 – Деформация при толщине заготовки 2 мм, в средней точке

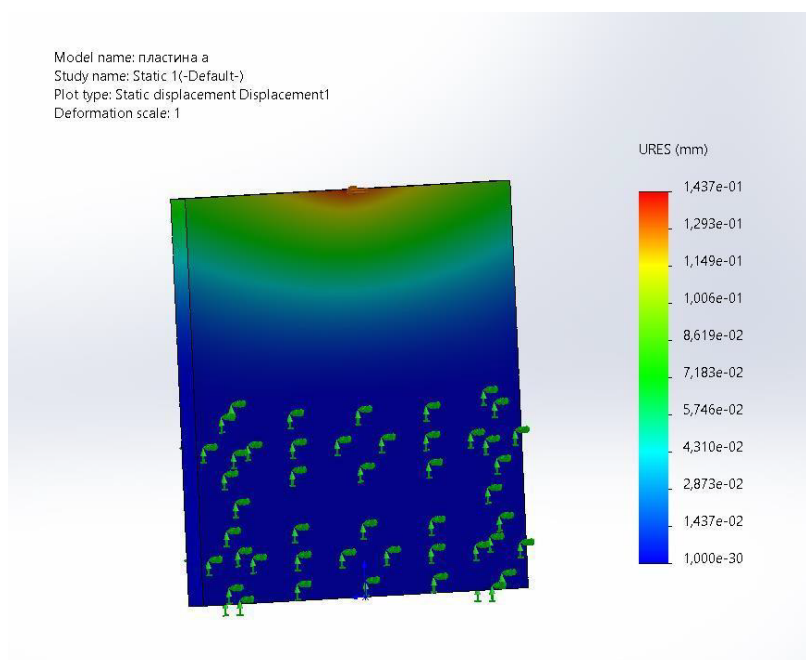


Рисунок 13 - Деформация при толщине заготовки 6 мм, в средней точке

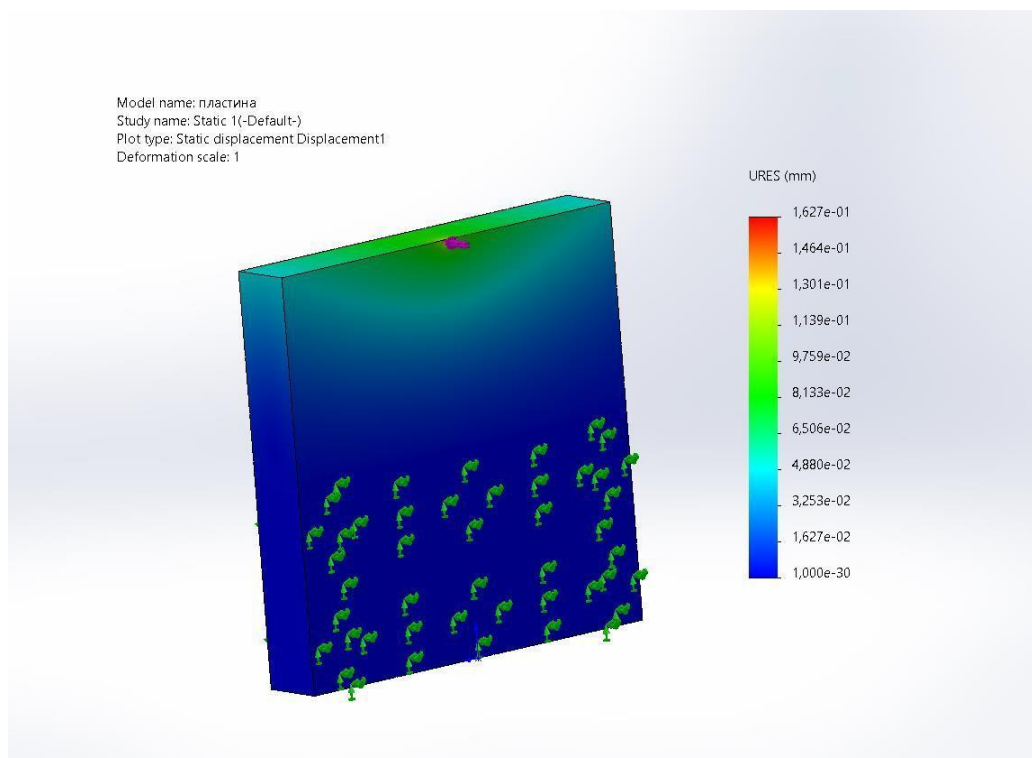


Рисунок 14 - Деформация при толщине заготовки 16 мм, в средней точке

В таблице ниже приведены результаты исследований.

	Деформация в средней точке, мм
Толщина=2мм, сила F=10N	0,03503
Толщина=6мм, сила F=1000N	0,1437
Толщина=16мм, сила F=1000N	0,1627

Для дальнейших исследований выберем более жесткую заготовку толщиной 16 мм. При выборе данной заготовки влиянием жесткости самой заготовки на точность обработки можно пренебречь.

2.3.Подбор режимов обработки

Режимы резания в рамках данной работы были выбраны, опираясь на источники [40, 41, 42]:

- $V=20 - 160$ мм/мин,
- $s=0,05 - 0,2$ мм/об,
- $t=0,2-0,5$ мм.

В качестве режущего инструмента была выбрана фреза из каталога МИОН. Фреза концевая твердосплавная универсальная, с количеством зубьев $z=2$. (Рисунок 15)

Соответствие скорость резания и частоты оборотов шпинделя представлены в приложении Б.

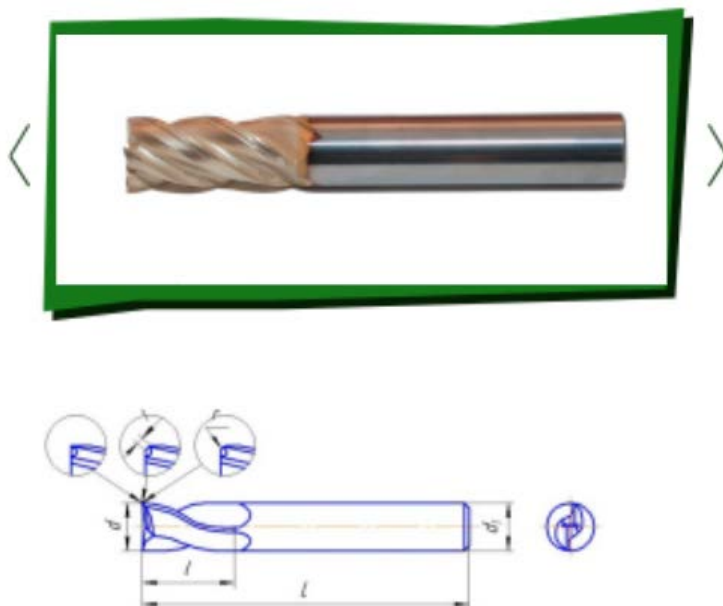


Рисунок 15 – Фреза концевая твердосплавная универсальная

Геометрические параметры фрезы:

Таблица 3 – Геометрические параметры фрезы

Обозначение	d, мм	l, мм	L, мм	d1, мм	Z, мм
У 602-8-11-59-СВ	8	11	59	8	2

Данная фреза универсальна в своем применении и может быть использована для изготовления большого количества изделий. Диаметр фрезы близок к максимальному возможному в применении на малогабаритном фрезерном станке.

2.4. Исследование математической модели процесса фрезерной обработки

В качестве метода исследования влияния жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ на точность обрабатываемых деталей используется метод математического моделирования процесса обработки.

Суть математического моделирования является создание модели, отражающей реальность. Под математическим моделированием будем понимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и задач исследования объекта и требуемой достоверности, и точности решения этой задачи. Суть математического моделирования сводится к созданию математической модели.

Исследование математической модели будет проводиться в программном продукте MatLab. Его функционала более чем достаточно, чтобы наглядно продемонстрировать исследуемую зависимость.

Основная цель математического моделирования механической системы - исследование характеристик поведения объектов под действием различных нагрузок, переменных во времени. Благодаря математической модели можно определить следующие параметры системы:

- собственные частоты и формы колебаний
- наибольшую амплитуду колебаний,
- распределение напряжений и деформаций при различных режимах при эксплуатации конструкции.

Благодаря определению этих параметров, можно управлять динамическими свойствами изделий на этапе проектирования.

Для произведения расчёта технологических параметров во времени была использована уже готовая программа на языке Си. В процессе исследования программа была доработана под данную тему и выбранную модель. Результат расчёта представлен в виде файла «txt» массивом чисел из четырнадцати столбцов и одного миллиона строк. Временной интервал вычисления от нуля до одной секунды обработки, с периодом времени в одну миллионную секунды. Начальные данные приведены в таблице ниже.

Таблица 4 – Заданные начальные параметры

Заданные параметры в программе	Единицы измерения	Параметр
t_max = 0.5000	с	Время расчёта
dt = 0.00000100	с	Интервал периода времени
omega_cutter = 120	Рад/с	Скорость вращения фрезы
s_z = 0.5	мм	Подача на зуб
cutter_diameter = 0.008	м	Диаметр фрезы
depth_of_cut = 0.0005	м	Глубина резание
number_of_cutting_line = 2		Число зубьев инструмента
cutting_tooth_in_line = 1		Число зубьев в ряду
mass_1 = 5		Масса инструмента
mass_3 = 200		Масса опоры детали
alpha_01_x = 1000	м ² /с	Вязкость опоры инструмента
alpha_01_y = 1000	м ² /с	Вязкость опоры инструмента
alpha_12_x = 1000	м ² /с	Вязкость материала детали
alpha_12_y = 1000	м ² /с	Вязкость материала детали
alpha_30_x = 1000	м ² /с	Вязкость опоры детали
alpha_30_y = 1000	м ² /с	Вязкость опоры детали
ridigity_01_x = 10000000	Н/м	Жесткость опоры инструмента
ridigity_01_y = 10000000	Н/м	Жесткость опоры инструмента
ridigity_30_x = 10000000	Н/м	Жесткость опоры детали
ridigity_30_y = 10000000	Н/м	Жесткость опоры детали

young_modulus = 200000000000		Модуль Юнга
type_of_tooth = R	круг	Тип зуба
height_of_tooth = 0.007	м	Размеры зубьев, высота
width_of_tooth = 0.0025	М	Ширина
radius_of_tooth = 0.003	М	Радиус
angle_of_taper = 60	градус	Угол при вершине
specific_force = 1992	Н	Удельная сила резания
implementation_time = 0.1	с	Время внедрения в деталь

Результатом работы программы генерируется результат в виде массива чисел.

Далее создается модель для анализа колебаний. Вынужденные колебания модели описываются уравнением:

$$\ddot{x} + 2\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{f}{m} \cos(\gamma t)$$

где λ – коэффициент затухания, рад/с; ω_0 – частота собственных колебаний или циклическая частота, рад/с; $F = f \cos(\gamma t)$ – периодическая внешняя сила, Н; f – амплитуда колебаний силы резания, Н; γ – частота изменения вынуждающей силы, рад/с; m – масса груза, кг; x – путь, м; \dot{x} – скорость, м/с; \ddot{x} – ускорение, м/с²

Заменяя члены произведения ω_0 и 2 уравнения (2.4.1) на

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad 2 = \frac{\alpha}{m}$$

и умножим обе части уравнения на m получим предыдущее уравнение в следующем виде:

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + cx = f \cdot \cos(\gamma t)$$

где c – жесткость пружины, Н/м; α – коэффициент пропорциональности силы трения и скорости (кг/с), т.е

$$\alpha = -\frac{F_{\text{тр}}}{\dot{x}}$$

и имеет положительное значение; $F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н; x – скорость, м/с.

Не мало важно то, что параметры m , α могут зависеть от времени t , скорости \dot{x} или ускорения \ddot{x} . Исходя из этого выражение (2.5.2) может быть использована для широкого применения.

В данной системе жесткость системы не линейна и зависит от силы, действующей на деталь. Исследования перемещений обрабатываемой заготовки в режиме реального времени покажет, на сколько сильно отклоняется поверхность обработки в процессе фрезерования.

2.5.Считывание данных с помощью MATLAB

Программный продукт MATLAB — это пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений, с его помощью был структурирован массив данных и построены графики зависимостей выбранных переменных.

Результатом работы программы является текстовый файл с расширением «txt», в котором представлен массив чисел из четырнадцати столбцов и одного миллиона строк. После формирования текстового файла необходимо обработать полученные данные, для чего была написана программа в среде MATLAB. С помощью программы MATLAB массив значений распознается как массив с заданными позициями, следовательно, можно разделить массив на столбцы. Значение каждого столбца приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Наименование столбцов по технологическим параметрам

Номер столбца	Единица измерения	Параметр	Обозначение
1	сек	Время	t
2	мм	Перемещения колебаний фрезы по оси X	x1
3	мм	Перемещение поверхностного слоя по оси X	xed
4	мм	Величина деформации детали по оси X	x2
5	мм	Величина деформации опоры по оси X	x3
6	мм	Перемещения колебаний фрезы по оси Y	y1
7	мм	Перемещение поверхностного слоя по оси Y	yed
8	мм	Величина деформации детали по оси Y	y2
9	мм	Величина деформации опоры по оси Y	y3
10	мм/сек	Скорость перемещения детали по оси X	Vx1
11	мм/сек	Скорость деформации поверхностного слоя по оси X	Vx_ed
12	мм/сек	Скорость перемещения детали по оси X	Vx2
13	мм/сек	Скорость перемещения опоры детали по оси X	Vx3
14	мм/сек	Скорость инструмента по оси Y	Vy1
15	мм/сек	Скорость деформации поверхностного слоя по оси Y	Vy_ed
16	мм/сек	Скорость перемещения детали по оси Y	Vy2
17	мм/сек	Скорость перемещения опоры детали по оси Y	Vy3
18	Н	Проекция силы на ось X	Fx
19	Н	Проекция силы на ось Y	Fy
20	мм	Толщина стружки	S
21	Вт	Сила резания	Pcut
22	Вт	Мощность сил трения	Pfric

Внутренний код программы распознавания в MATLAB приведен на рисунке 16.


```

clear;

path = ('C:\Resolver for experiments\');

read_name_file1 = 'output_graph_data.txt';
read_name_file2 = 'output_surface_data.txt';
plot_name = ('Figure');%['Figure_' num '_'_y']
A = load ([path read_name_file1]);
B = load ([path read_name_file2]);
x = A(:, 1);
y1 = A(:, 2);
y2 = A(:, 3);
y3 = A(:, 4);
y4 = A(:, 5);
y5 = A(:, 6);
y6 = A(:, 7);
y7 = A(:, 8);
y8 = A(:, 9);

y9 = A(:, 18);
y10 = A(:, 19);

y11 = A(:, 20);
y12 = A(:, 21);
y13 = A(:, 22);

x_ = B(:, 1);
y_ = B(:, 2);

set(0,'DefaultAxesFontSize',14,'DefaultAxesFontName','Times New Roman');
fig = figure('Units','normalized','OuterPosition',[0.125 0.1 0.65 0.8]);
fig.PaperPositionMode = 'auto';

ax1 = subplot(4,1,1);
plot(x, y3.*1000,'k--', 'LineWidth', 1);
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
ylabel('Деформация, мм');
xlabel('Время, с');
legend('Деталь','Location','southwest');
grid on;

ax2 = subplot(4,1,2);
plot(x,y1.*1000,'k-',x,y4.*1000,'k--','LineWidth',1);
set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
ylabel('Деформация, мм');
xlabel('Время, с');
legend('Фреза','Ствол','Location','southwest');
grid on;

ax3 = subplot(4,1,3);
plot(x, y9,'k-', 'LineWidth', 1);
ylabel('Сила резания, Н');
xlabel('Время, с');
grid on;

ax4 = subplot(4,1,4);
plot(x, y11.*1000,'k-', 'LineWidth', 1);
ylabel('Толщина стружки, мм');
xlabel('Время, с');

```

Рисунок 16 – Программный код для построения графиков зависимости технологических параметров обработки от времени в среде MatLab

После распознавания массива данных с конкретными позициями необходимо построить зависимость параметров системы обработки в среде MATLAB.

2.6. Анализ поведения технологических характеристик во времени при разной скорости резания

Исходя из полученных программой данных существует возможность исследовать поведение системы во время обработки.

Во время обработки заготовки, она совершает собственные и вынужденные колебания, которые влияют на качество получаемой поверхности и точность заданных размеров. В момент врезания фрезы в заготовку и выхода из нее происходят разные колебания. Помимо этого, в момент последующего врезания фрезы в заготовку, она может отклоняться от первоначального положения, вследствие этого может возникать наложение вибраций.

Необходимо определить такую частоту колебаний, при которой не будет происходить наложения, для этого необходимо изменять угловую скорость фрезы ω_{cutter} [рад/с], при постоянных прочих переменных, для определения возможности подобных частот. Изменять угловую скорость фрезы необходимо так, чтобы скорость резания изменялась в пределах от 26 м/мин до 170 м/мин.

Для удобства построения графиков за переменную была взята скорость резания в м/мин. Перевод из скорости резания в частоту резания (Гц) и угловую скорость (рад/с) приведены в приложении А.

Для наглядного отображения технологических параметров построим графики зависимости деформации детали от времени, деформации фрезы от времени. Построение данных графиков нам покажет в какой момент фреза входит в обрабатываемую деталь.

Помимо вышеперечисленных параметров, одним из важных параметров является толщина стружки, снимаемой в процессе обработки. Толщина стружки может разниться в течении обработки, так как деталь отклоняется при врезании режущего инструмента. Деталь может отклоняться как навстречу фрезе, так и от нее. В процессе исследования необходимо подобрать такие параметры, при которых толщина стружки будет одинаковая во время всей обработки детали. Чтобы добиться такого результата, необходимо подобрать параметры резания, при которых в момент врезания фрезы деталь будет возвращаться в исходное положение, что описано выше в этом же пункте.

Также необходимо построить график зависимости силы резания от времени.

Для полной картины вышеуказанные графики необходимо рассматривать все в совокупности, чтобы определить причины неустойчивости системы.

Первым этапом исследования были построены графики зависимостей параметров от времени для скорости резания от 26,7 м/мин до 160 м/мин с шагом в 3,3 м/мин. Такие крайние значения и шаг был выбран исходя из частоты оборотов шпиндели, которыми регулируется скорость резания (Приложение Б).

Рассмотрим более подробнее графики при скорости резания 146,7 м/мин (Рисунок 17).

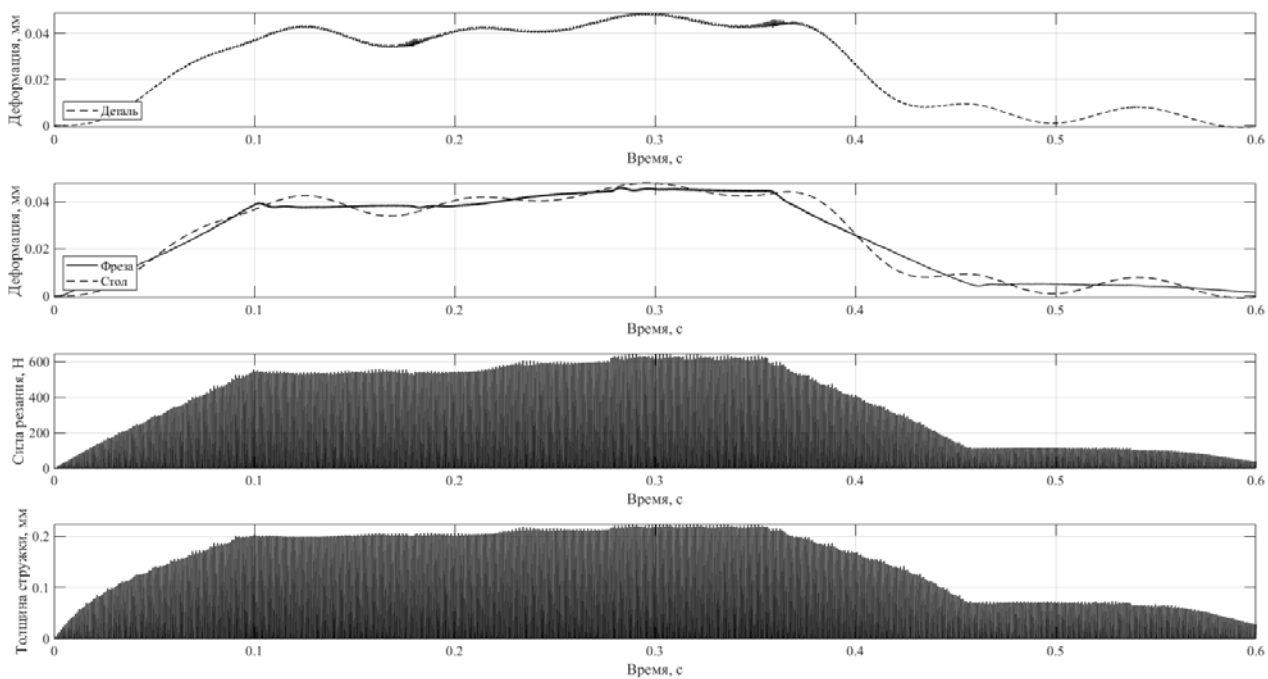


Рисунок 17 – Графики зависимости технологических параметров при скорости резания 146,7 м/мин

Подходящая скорость резания должна обеспечивать одинаковую толщину стружки, что можно видеть на графике в нижней части рисунка 16. Толщина стружки равномерна и равна 0,2 мм.

Целью данной работы является исследование влияния жесткости малогабаритного фрезерного станка на точность обработки, а также изучение возможности замены ими крупногабаритных станков. Для определения этой возможности необходимо обратить внимание на 2 графика в верхней части рисунка 16, деформацией стола, заготовки и фрезы. От этих параметров будет зависеть точность размеров на получаемой детали.

Деформация фрезы станка изменяется в пределах от 0,025 мм до 0,045 мм, а деформация детали от 0,025 мм до 0,045 мм т.е. суммарная погрешность будет составлять порядка 0,1 мм. Полученная погрешность не сопоставима с гарантированной точностью крупногабаритных станков.

Выберем диапазон скоростей резания от 140 м/мин до 150 м/мин, но уже с шагом в 1 м/мин, для более детального исследования процессов. Так же изменим режимы резания, а именно установим глубину резания $depth_of_cut = 0.0001$. Составим таблицу перевода значений скорости резания в частоту вращения шпинделя и угловую скорость фрезы (Таблица 6).

Таблица 6 – Перевод диапазона скорости резания 140 м/мин - 150 м/мин

Скорость резания, м/мин	Частота вращения, об/мин	Угловая скорость вращения фрезы, рад/сек
140	21000	3344
141	21150	3368
142	21300	3392
143	21450	3416
144	21600	3439
145	21750	3463
146	21900	3487
147	22050	3511
148	22200	3535
149	22350	3559
150	22500	3583

По полученным данным строим графики зависимости перемещений, силы резания и толщины стружки от времени. Получившиеся графики представлены в приложение Б. Один из графиков представлен на рисунке 18.

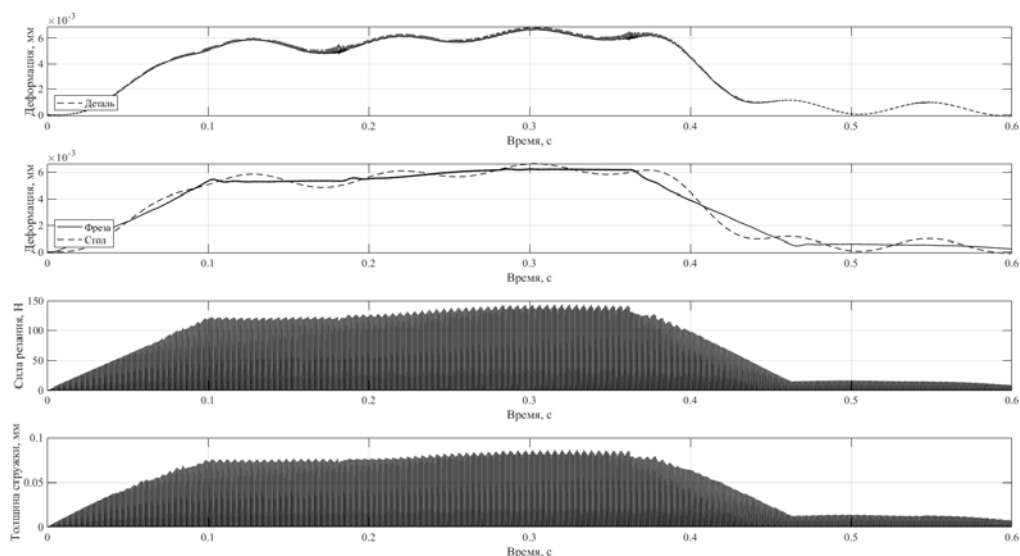


Рисунок 18 – График зависимости технологических параметров при скорости резания в 145 м/мин

Сравнения 2 графика на рисунках 17 и 18 видно, что величин деформация значительно уменьшились, а суммарная погрешность составляет порядка 0,01 мм, что на порядок меньше предыдущего значения.

Так же уменьшилась сила резания, так как при увеличении скорости резания уменьшается сила резания. Данный фактор положительно сказывается на износе инструмента и отклонении получаемых размеров детали.

Ввиду математического исследования процесса фрезерование, нельзя не учитывать отклонения полученных результатов от реального мира, т.е. необходимо добиться такой величины отклонения, которая была бы на порядок выше той, которую необходимо достичь при построение реальной модели станка.

Произведем еще одно исследование для скорости резания в 145 м/мин, только уже с измененной подачей на зуб $s_z = 0.2$. Результат представлен на рисунке 19.

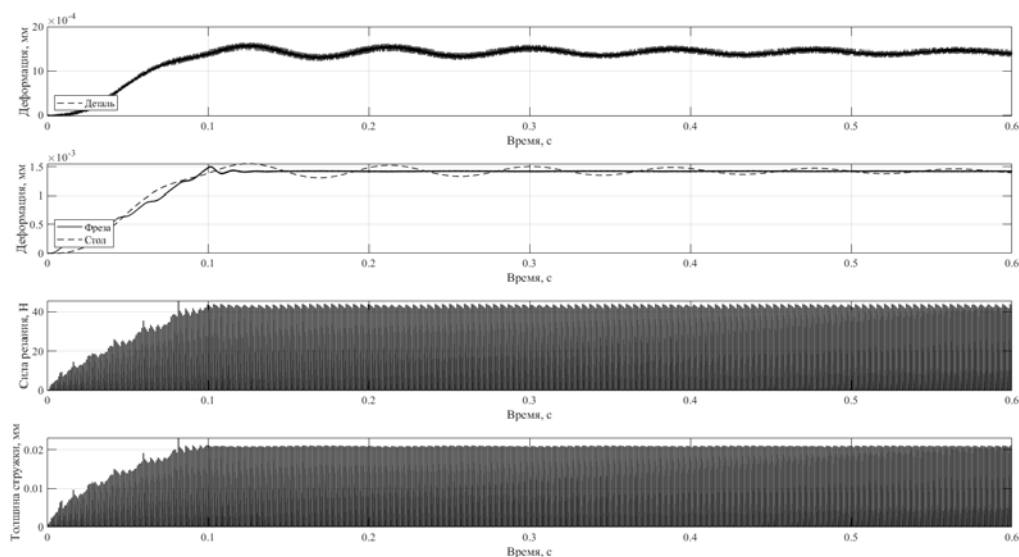


Рисунок 19 – Технологические характеристики системы при $s_z = 0,2$

мм

Из построенных графиков зависимостей технологических параметров при измененной подаче на зуб в 0,2 мм видно, что колебания детали стали значительно меньше, что положительно влияет на точность обработки. Так же можно наблюдать стабильную силу резания в 40Н и толщину стружки порядка 0,02 мм.

Так же можно наблюдать, что снизилась скорость обработки, по отношению к предыдущим значениям, приблизительно в 2 раза. Данный фактор никак не влияет на качество получаемой поверхности детали и ее размеры, и при условии, что обрабатываются небольшие заготовки, данным фактом можно пренебречь.

Заключения раздела

Благодаря проведенному анализу технологических параметров можно предугадать поведение системы в процессе обработки детали. Также можно отследить неблагоприятные моменты обработки и выявить их причины.

Из исследования видно, что возможными параметрами станка будут следующие данные:

- Масса всего станка – 200 кг
- Масса шпиндельного узла – 5 кг
- Жесткость системы и ее узлов не менее 1 кН/мм

Возможные параметры резания для выбранной фрезы ($z=2$, $d=8$ мм):

- Величина подачи на зуб – 0,2 мм
- Глубина резания – 0,1 мм
- Скорость резания – 145 м/мин

По построенным графикам зависимостей технологических параметров от времени и проведенному анализу можно сделать вывод, что за счет подбора необходимых параметров резания (указанных выше) и комплектующих для малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ можно приблизиться к частоте получаемой поверхности и точности заданных размеров, получаемых в процессе обработке к значениям, получаемыми на крупногабаритных станках.

Недостатком, при данных параметрах, будет являться быстрый износ режущего инструмента из-за высокой скорости вращения. Решить данную проблему можно путем изменения геометрии режущей кромки и в целом параметров зуба фрезы.

На данный момент построение графиков занимает большое количество времени. Как перспектива улучшения может служить автоматизация данной программы до автоматического подбора параметров под конкретный вариант обработки. После решение этой задачи данную программу можно внедрить в систему числового управления станков, что позволит определять оптимальные режимы резания непосредственно перед обработкой детали.

Подводя общий итог, можно сказать, что создание малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ, который бы обеспечивал гарантированную точность обработки порядка 0,01 мм может быть возможным.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В рамках магистерской диссертации разработан новый метод активного воздействия на вибрацию технологической системы при резании. Исследована возможность управления режимами обработки в реальном времени при помощи математического моделирования. Произведена теоретическая проверка возможности реализации предложенного метода обработки на основе математической модели динамики фрезерования.

В данном разделе комплексно описаны и проанализированы финансово-экономические аспекты выполненной работы. Произведена оценка денежных затрат на исследование системы.

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках ИР. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет научного проекта, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

Цель работы: оценка эффективности разработанной компьютерной системы, возможности управления точностью обработки тонкостенных деталей при фрезеровании.

3.1.Предпроектный анализ

3.1.1. Анализ конкурентных технических решений

В настоящее время наиболее интенсивно изучаются вопросы связанные с повышением точности лезвийной обработки и качества поверхностного слоя изделия. Для решения этих задач нашли применение 3 основных направления:

Вариант 1 – Выбор устойчивых режимов обработки, обеспечивающих минимизацию упругих деформаций детали и их влияние на точность и шероховатость поверхности;

Вариант 2 – Использование методов активного гашения вибрации специальными виброгасителями. (Динамический виброгаситель используется как дополнительная колебательная система, всегда работающая в противофазе с источником колебаний);

Вариант 3 – Управление режимами обработки в реальном времени, позволяет менять режимы резания непосредственно в процессе обработки.

Первые два варианта к настоящему моменту уже глубоко изучены и применяются в промышленности. Последнее направление стало активно исследоваться с появлением станков с ЧПУ, позволяющих менять режимы резания непосредственно в процессе обработки.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 1.

Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 3.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Простота использования метода	0,1	3	4	2	0,3	0,4	0,2
2. Точность обработки детали, качество поверхностного слоя изделия	0,1	2	3	5	0,2	0,3	0,5
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	1	3	5	0,1	0,3	0,5
4. Простота эксплуатации	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
5. Точность расчётов	0,1	3	2	5	0,3	0,2	0,5
6. Динамическая приспособляемость	0,1	1	3	5	0,1	0,3	0,5
7. Возможность применения метода	0,1	5	3	1	0,5	0,3	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
1. Уровень проникновения на рынок	0,05	5	3	1	0,25	0,15	0,05
3. Перспективность рынка	0,1	2	4	5	0,2	0,4	0,5
4. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	1	0,25	0,25	0,05
Итого	1	36	38	35	3	3,3	3,5

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3 \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность проекта; i V – вес показателя (в долях единицы); i B – балл показателя.

Рассмотренные варианты имеют свои преимущества и недостатки и в каждом из вариантов есть свои подтипы методов. Разные варианты используются в разных условиях. На эффективность метода влияют: тип производства, сложность продукта изготовления, возможности применения системы, целесообразность применения. Нельзя однозначно для всех видов производства определить какой метод будет эффективней, всё зависит от условий.

Так как управление режимами обработки в реальном времени, позволяет менять режимы резания непосредственно в процессе обработки, следовательно эффективно будет применять этот метод для податливых деталей, где колебания обрабатываемой детали происходят не циклично, и значительно меняются в ходе обработки, также требуют повышенной точности изготовления.

В результате полученной оценочной карты, метод предоставленный в диссертации В3 превосходит другие варианты.

3.1.2. SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Такой метод применяют для исследования внутренней и внешней среды проекта. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон, возможностей и угроз для реализации проекта (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - SWOT анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Уникальность технологии. С3. Компьютерная реализация модели С4. Возможность мониторинга параметров обработки в режиме реального времени. С5. Более высокая точность обработки по сравнению с другими технологиями</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл4. Отсутствие возможности проверки адекватности метода практически. Сл5. Узкая направленность на определенную группу изделий</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Возможность перехода производств на новые технологии В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Рост заинтересованности производителей в научно-технических разработках моделей различных процессов</p>	<p>В1В2В3С4 – Создание удобного интерфейса программы на основе исследуемого метода системы</p>	<p>В1В3В4Сл1 – Проведение экспериментов в лабораториях ТПУ для проверки модели на адекватность В2Сл2Сл3 – Повышение квалификации кадров у потребителя внедрение системы в производство В3Сл5 – Приобретение необходимого оборудования опытного образца</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>У3У2С3С4С5 – Продвижение новой технологии с целью появления спроса на систему</p>	<p>У3У2У3Сл1Сл2 заинтересовать компании проработанной методикой У2У2Сл3Сл4 – разработать бизнес-план коммерциализации</p>

Таблица 3.3 - Интерактивная матрица проекта для сильных сторон и возможностей

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	0	0	+	0
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+
	B4	+	+	+	+	+

Таблица 3.4 - Интерактивная матрица проекта для слабых сторон и возможностей

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	-	-	+	-
	B2	0	+	+	+	-
	B3	+	-	0	+	+
	B4	+	-	-	+	0

Таблица 3.5 - Интерактивная матрица проекта для сильных сторон и угроз

Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	+	+	+	+
	У2	+	+	+	0	+
	У3	-	-	+	+	+

Таблица 3.6 - Интерактивная матрица проекта для сильных сторон и угроз

Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	+	+	+	+
	У2	+	+	+	0	+
	У3	-	-	+	+	+

Таблица 3.7 - Интерактивная матрица проекта для слабых сторон и угроз

Сильные стороны проекта						
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	+	0
	У2	+	+	+	+	+
	У3	+	+	-	-	+

3.1.3. 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 необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п / п	Наименование	Степень проработанности и научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3

14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	47	55

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю составляем оценку по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. 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. Перспективность данной разработки можно считать выше среднего так как $B_{\text{сум}}$ получилось от 59 до 45.

3.2. Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках проектирования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов проектирования.

Для выполнения данного проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 3.9.

Таблица 3.9 - Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Выбор направления исследований	Руководитель
Составление и утверждение технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Инженер
	3	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Обзор литературы	4	Литературный обзор статей по данной теме на русском и иностранном языках.	Инженер
	5	Написание обзорной статьи по данной теме	Инженер

Исследование в программной среде Solid works	6	Создание исследуемой модели	Инженер
	7	Исследования резонансных частот	Инженер
	8	Исследование перемещений обрабатываемой детали при чистовой и черновой обработки	Инженер
Подготовительный этап	9	Нахождение и расчёт технологических параметров обработки	Инженер
Исследование в программной среде MATLAB	10	Разработка программного продукта для чтения и обработки массива данных.	Инженер
	11	Построение графиков технологических параметров обработки в зависимости от времени	Инженер
	12	Анализ графиков и подбор наилучших параметров обработки	Инженер
Обобщение	13	Оценка эффективности	Руководитель

3.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, т.е. носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях». Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожі}$ определяется по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_i + 2t_i}{5} \quad (3)$$

Где t_{mini} – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.)

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pt} = \frac{t_{ожі}}{ч} \quad (4)$$

Где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел. По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 3.10.

3.2.3. Разработка графика проведения проектирования

Основная часть стоимости разработки проекта составляет из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Для удобства построения диаграммы Гранта, которая представляет ленточный график работ, представленных отрезками во времени, необходимо перевести длительность каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни. Для этого необходимо рассчитать коэффициент календарности для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя исследователя) по следующей формуле:

$$k_{\text{калинж}} = \frac{E_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,475 \quad (5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году, $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году. Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал.рук.}} = \frac{E_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 53 - 14} = 1,224 \quad (6)$$

Ниже приведен пример расчёта временных показателей проведения научного исследования для первого этапа работы, остальные выполняются аналогично. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_i + 2t_i}{5} \quad (7)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн (так как исполнители работали одновременно, то минимально и максимально возможную, а также ожидаемую трудоёмкость учитываем общими для исполнителей).

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i} \quad (8)$$

Где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (9)$$

где, T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях.

По полученные данные, коэффициенты и формулы в программе Excel выполняем расчеты для каждой работы. Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу.

Таблица 3.10 - Временные показатели проектирования

Название работ	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{mi} , чел-дни		t_{ma} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Выбор направления исследований	2	2	5	5	3,2	3,2	1,6	1,6	2	3
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Календарное планирование работ по проекту	2	-	4	-	2,8	0	2,8	0	4	-
Литературный обзор статей по данной теме на русском и иностранном языках.	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
Написание обзорной статьи по данной теме	-	3	-	8	-	5	-	5	-	8
Создание исследуемой модели	-	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-	3
Исследования резонансных частот	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	3
Исследование перемещений обрабатываемой детали при чистовой и черновой обработки	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	6
Нахождение и расчёт технологических параметров обработки	-	4	-	10	-	6,4	-	6,4	-	10
Разработка программного продукта для чтения и обработки массива данных.	-	4	-	8	-	5,6	-	5,6	-	9

Построение графиков технологических параметров обработки в зависимости от времени	-	8	-	12	-	9,6	-	9,6	-	15
Анализ графиков и подбор наилучших параметров обработки	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
Оценка эффективности полученных результатов					1,8	,8	,9	,9		
Составление отчёта о проделанной работе с полным анализом результатов		0		0		4		4		1
Разработка презентации и раздаточного материала						,2		,2		
						Итого:	8,1	7,7	2	07

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта.

На основе таблицы 9 построим план-график работ (диаграмма Ганта). Диаграмма Ганта строится по длительности исполнения работ в рамках НИ с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения.

Таблица 3.11 - Календарный график проведения НИ

№ раб.	Исполнители	Т, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																				
			ноябрь			декабрь			январь	февраль			март			апрель			май			июнь	
			1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Рук. / Инж.	2/3			█	█																	
2	Рук.	4			█	█																	
3	Рук.	4				█	█																
4	Инж.	18					█	█	█	█													
5	Инж.	8								█	█												
6	Инж.	3										█	█										
7	Инж.	3												█	█								
8	Инж.	6														█	█						
9	Инж.	10																█	█	█			
10	Инж.	9																		█	█	█	
11	Инж.	15																			█	█	█
12	Инж.	4																				█	█
13	Рук. / Инж.	2/2																				█	█

Таблица 3.12 - Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	115
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	107
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	12

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

3.3. Цели и результат исследования

В рамках инициации определяются цели и содержание проекта, определяется объем финансирования.

Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Машиностроительные компании, авиационные компании, энергетическая промышленность
Руководитель проекта	Реализация проекта
Исполнитель проекта	Получение степени магистра
НИ ТПУ	Привлечение средств хозяйственных договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 3.14.

Таблица 3.14 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование возможности применения системы управления режимами обработки в реальном времени
Ожидаемые результаты проекта:	Теоретическое подтверждение возможности применения системы управления
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность параметров

3.3.1. Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 1.

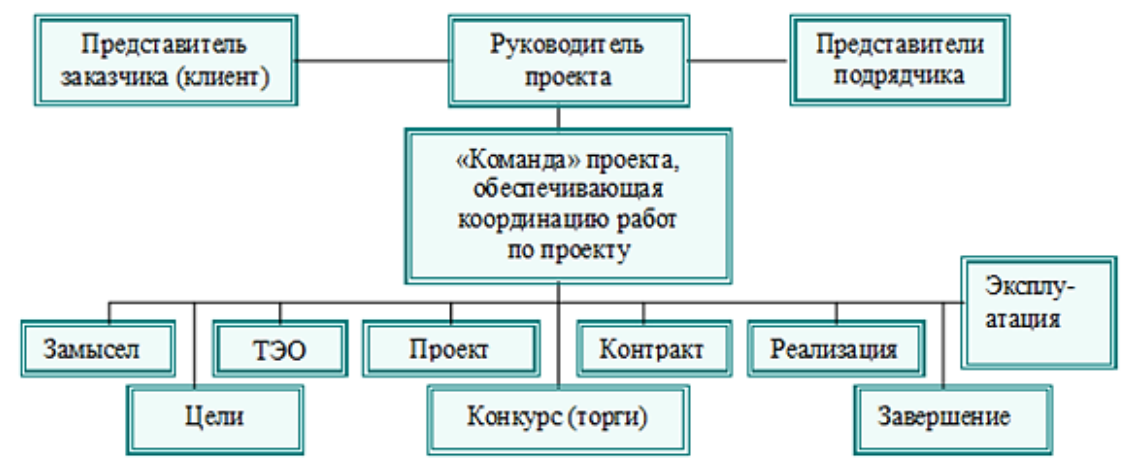


Рисунок 36 - Проектная структура проекта

3.3.2. План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 3.15).

Таблица 3.15 - План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

3.3.3. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 3.16.

Таблица 3.16 - Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчетов	3	5	Средний	Пересчет, проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

3.3.4. 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 3.16.

Для полноты и достоверности учета всех расходов сгруппируем все затраты по следующим статьям:

- затраты на материалы
- затраты на специальное оборудование
- основная заработная плата исполнителей
- дополнительная заработная плата исполнителей темы
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)
- накладные расходы

3.3.5. 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 (таблица 3.17).

Таблица 3.17 - Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь	2	40,0	80,0
Ручка шариковая	3	31,0	93,0
Ластик	2	20	40,0
Печать	150	2	300,0
Бумага	38	8	304,0
Беззольные фильтры	1	86,60	86,60
Бутылки полиэтиленовая	25	10	250
Всего за материалы	1153,6		
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			57,68
Итого по статье			1211,28

3.3.6. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 3.18).

Таблица 3.18 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (НР)	1	25000,0	25000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5990,0
3	ПО Matlab	1	10000	10000
Итого, руб.:				40990

3.3.7. Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (10)$$

де $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб} \quad (11)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 16); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб} \quad (12)$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \quad (13)$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \quad (14)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; $k_{р}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 3.19 - Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 3.20 - Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнитель	$Z_{тс}$, руб	k_n p	k_d	k_r	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	8,1	17393,1
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	67,7	118007,9
Итого:								135401

3.3.8. Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 17393,1 = 2609 \text{ руб (15)}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 118007,9 = 17701,2 \text{ руб (16)}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

3.3.9. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (17393,1 + 2609) = 6000,6 \quad (17)$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (118001,9 + 17701,2) = 40712,7 \text{ руб} \quad (18)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2019 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

3.3.10. Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{5} \right) \cdot k_{нр} = (1212 + 40990 + 135401 + 20310 + 41313) \cdot 0,2 = 25776 \text{ руб} \quad (19)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 3.21 - Группировка затрат по статьям

Вид исследования	Статьи						
	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
Данное исследование	1212	40990	135401	20310	41313	25776	265002
Аналог	1550	59079	139700	24345	48872	43754	317300

3.3.11. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. 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:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (20)$$

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 **25 %**, норма амортизации - 10 %.

Таблица 3.22 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	331 252,5	331 252,5	331 252,5	331 252,5
2	Итого приток, руб.	0	331 252,5	331 252,5	331 252,5	331 252,5
3	Инвестиционные издержки, руб.	-265002	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	92 750,7	92 750,7	92 750,7	92 750,7
5	Налогооблагаемая прибыль	0	238 501,8	238 501,8	238 501,8	238 501,8
6	Налоги 20 %, руб.	0	47 700,36	47 700,36	47 700,36	47 700,36
8	Чистая прибыль, руб.	0	190 801,44	190 801,44	190 801,44	190 801,44
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-265002	217 301,64	217 301,64	217 301,64	217 301,64
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток	-265002	181 012,2	150 807,3	125 600,3	104 739,3
12	Σ ЧД		562 159,19 руб.			
12	Итого NPV, руб.		297 157,19 руб.			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t} \quad (21)$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 297 157,19 рублей, 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:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1 \quad (22)$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{562\,159,19}{265002} = 2,12 \quad (23)$$

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 =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 3.23 и на рисунке 2.

Таблица 3.23 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-265002	217301,64	217301,64	217301,64	217301,64	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	

3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
0,1	-265002	197527,2	179491,2	163193,5	148417	423626,9	
0,2	-265002	181012,3	150807,3	125600,3	104739,4	297157,3	
0,3	-265002	167105	128642,6	98872,25	76055,57	205673,4	
0,4	-265002	155153,4	110823,8	79097,8	56498,43	136571,4	
0,5	-265002	144940,2	96481,93	64103,98	43025,72	83549,83	
0,6	-265002	135813,5	84747,64	53021,6	33247,15	41827,92	
0,7	-265002	127773,4	72796,05	44112,23	24337,78	4017,43	
0,8	-265002	120819,7	67146,21	37158,58	20643,66	-19233,8	
0,9	-265002	114300,7	60192,55	31726,04	16732,23	-42050,5	
1,0	-265002	108650,8	54325,41	27162,71	13472,7	-61390,4	

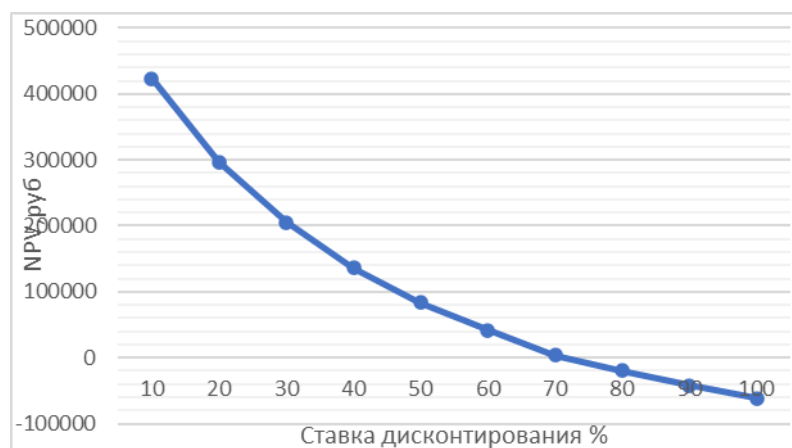


Рисунок 37 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

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 0,72.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $72\% - 20\% = 52\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 3.24).

Таблица 3.24 - Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	-265002	181012,2	150807,3	125600,3	104739,3
2	То же нарастающим итогом, руб.	-265002	-19233,8	4017,43	41827,92	83549,83
3	Дисконтированный срок окупаемости	$D^{PP}_{дск} = 1 + (19233,8 / 150807,3) = 1,13$ года				

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 (таблица 3.25).

Таблица 3.25 - Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Низкое качество защиты различного технологического оборудования от параметров вибрации	Выявлена возможность регулировать параметры вибрации и снижать негативное влияние вибрации на технологическое оборудование
Отсутствие информации о новых методах демпфирования параметров вибрации	Выявлен новый метод демпфировать отрицательное влияние вибрации на технологическое оборудование

3.3.12. Оценка абсолютной эффективности исследования

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

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

- Станок ЧПУ «Роутер 3220»;
- Roland DGSHAPE Desktop Engraver DE-3;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (23)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{265002}{280000} = 0,95 \quad (24)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{255000}{280000} = 0,92 \quad (25)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{270000}{280000} = 0,96 \quad (26)$$

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

3.3.13. Интегральный показатель финансовой эффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (27)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 3.26.

Таблица 3.26 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка 1 аналога	Бальная оценка 2 аналога
1. Безопасность при использовании установки	0,3	5	5	4
2. Стабильность работы	0,3	4	3	5
3. Технические характеристики	0,1	5	3	4
4. Ремонтопригодность	0,2	4	4	3
5. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4
Итого:	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,5 \quad (28)$$

$$I_{p2} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,9 \quad (29)$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 4,1 \quad (30)$$

3.3.14. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4,5}{0,95} = 4,7 \quad (31)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 3.27). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{4,2}{4,7} = 0,89 \quad (32)$$

Таблица 3.27 - Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	0,92	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,9	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	4,2	4,14
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,88

Заключение раздела

В результате анализа раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», можно сделать следующие выводы:

1. По результатам проведенного анализа конкурентных технических решений можно отметить, что для определенной отрасли производства исследуемый в данной работе метод является наиболее предпочтительным и рациональным по сравнению с остальными;

2. По результатам SWOT-анализа научно-исследовательского проекта можно предположить, что с ростом инновационной промышленности и возможностей перехода на новые технологии 86 исследуемый метод обработки деталей будет активно исследоваться и искать применения в авиастроении, машиностроении космической промышленности и т.д.

4. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 115 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 107 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 12;

5. Главным преимуществом научного исследования является то, что подобные методы обработки начали исследоваться относительно недавно благодаря росту возможностей программного обеспечения и инновационной техники, а также заинтересованности в повышении точности и качества обработки сложных деталей. Обработка материала исследуемым способом не изучена в полной мере и пока не имеет возможности применения.

4. Социальная ответственность

Введение

Данный раздел включает в себя описание и влияние на человека опасных и вредных факторов при исследовании проекта на тему «Влияние жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ на точность обрабатываемых деталей». Целью данного раздела является выявление возможных вредных и опасных факторов, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Экспериментальная часть магистерской работы осуществлялась на персональном компьютере при работе с различными программными обеспечениями в отделении материаловедения Томского политехнического университета. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Также в аудитории находится аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером.

4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1. Правовые нормы трудового законодательства

ТК РФ Статья 91. Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени. Согласно этой статье, нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Порядок исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда. Фактическое время работы не превышало 40 часов в неделю.

Согласно «ТК РФ статья 100. Режим рабочего времени.» режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели, работу с ненормированным рабочим днем для отдельных категорий работников, продолжительность ежедневной работы (смены), в том числе неполного рабочего дня (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки, чередование рабочих и нерабочих дней, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством. Фактический режим работы был: Работа с ненормированным рабочим днем.

4.1.2. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Каждый гражданин РФ имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены, и на охрану здоровья, приведенным в Конституции Российской Федерации.

Удобная поза и свобода трудовым движениям обеспечивается правильным расположением и компоновкой рабочего места (рисунок 4.1). Кроме этого, при использовании оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, трудовой процесс становится эффективней, уменьшается утомляемость и предотвращается опасность возникновения профессиональных заболеваний.

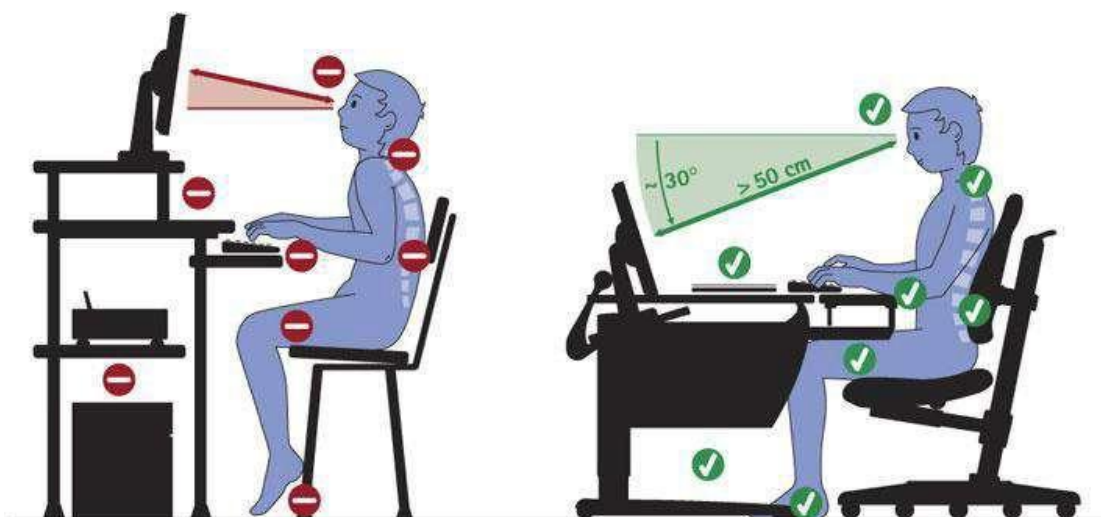


Рисунок 38 - Правильное положение при работе за компьютером

Организация рабочего места предусматривает:

- правильное размещение рабочего места в учебном помещении;
- выбор эргономично обоснованного рабочего положения, мебели с учетом антропометрических характеристик человека;
- рациональная компоновка оборудования на рабочих местах;
- учета характера и особенностей трудовой деятельности.

Согласно статье 91 Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019), политическое направление, опубликованное в этом документе и применяемое к этой работе, выглядит следующим образом:

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Главными элементами рабочего места конструктора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление человека. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы конструктор мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей);
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680 – 760 мм;
- высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

Необходимо предусматривать при конструировании возможность различного размещения документов сбоку от видеотерминала, между монитором и клавиатурой и т. п. кроме того, в случаях, когда видеоматериал имеет низкое качество изображения, например, заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700 мм), чем расстояние от глаза до документа (300 – 450 мм).

Для осуществления работы оператора рабочая зона с ПЭВМ организуется в соответствии СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда». При анализе помещения для проектирования выявлено:

- помещение с ПЭВМ оборудовано системой отопления;
- пол в помещении с ПЭВМ ровный, без выбоин, нескользкий;
- ширина стола, на котором располагается ПЭВМ 750 мм, а глубина – больше 550 мм;
- угол сиденья в помещении не регулируется, угол наклона спинки в вертикальной плоскости составляет около 30 градусов;
- провода электропитания и кабель локальной сети находятся в стояке, основание которого совмещено с подставкой для ног;

Таким образом полученные результаты можно считать подходящими для проведения работ оператором в рассматриваемой аудитории с целью исследования влияния жесткости малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ на точность обрабатываемой детали.

4.2. Производственная безопасность

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 4.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	- СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1)»

Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего;	- Требования к микроклимату по ГОСТ 12.1.005-88;
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;	- Требования к освещению СП 52.13330.2016; Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-95*;
Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.	- ГОСТ 22269-76. Система «человек машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.	- ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

4.3. Анализ выявленных вредных и опасных факторов

4.3.1. Повышенный уровень шума

В основном вся работа конструктора происходит в окружающей среде внутри кабинета проектно-конструкторского отдела, следовательно, уровень непостоянного шума должен подчиняться санитарным нормам СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1)». Уровень шума не должен превышать 80 дБ.

4.3.2. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», работа конструктора в холодный период относится к легкой степени тяжести Ia, при этом должны соблюдаться оптимальные величины температуры воздуха 22-24°C, его оптимальной влажности 60-40% и скорости движения (не более 0,1 м/с).

В теплый период также к легкой степени тяжести Ia, но при этом должны соблюдаться оптимальные величины температуры воздуха 23-25°C, его оптимальной влажности 60-40% и скорости движения (не более 0,1-0,2 м/с).

4.3.3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Особая роль отводится контролю по обеспечению должного уровня освещения рабочего места. Поскольку местом проведения работ является помещение, то возникает необходимость максимального приближения освещения к естественному солнечному, чтобы избежать снижения зрения и повышение утомляемости работника. Для обеспечения нормируемых показателей освещенности обеспечен постоянный контроль исправности осветительного оборудования и его замена, в случае неисправности.

Рабочий стол установлен таким образом, чтобы световой поток направлен слева от работника.

Искусственное освещение представлено комбинированной системой. Поскольку монитор ПК также является источником света, то в целях снижения мерцания экрана установлена частота кадров 60 Гц для ЖКИ-мониторов. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ проводится чистка стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводится своевременная замена перегоревших ламп.

В производственных помещениях, где установлены ЭВМ следует применять совмещенное освещение.

Помещение имеет параметры: длина – $A=5$ м; ширина – $B=3$ метров; высота – $H=2,5$ метра; рабочая плоскость находится на уровне $d=0,8$ м; свес светильника – $m=0,2$ м; коэффициенты отражения потолка – $a=50\%$, стен – $b=30\%$, пола – $c=10\%$; расстояние между светильниками – $h=H-d-m=1,5$ м.

Рассчитаем площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 5 \cdot 3 = 15 \text{ м}^2 \quad (33)$$

Индекс помещения находится по формуле:

$$i = \frac{S}{(A+B) \cdot h} = \frac{15}{(5+3) \cdot 1,5} = 1,25 \quad (34)$$

По индексу помещения и коэффициентам отражения, находим

коэффициент использования светового потока $\eta=48\%$. Количество принятых светильников $N=4$. Коэффициент минимальной освещенности принять за $z=1$. По СП 52.13330.2016 нормируемая освещенность составляет $E_H=400$ лк, коэффициент запаса $k_z=1,4$.

Вычислим световой поток для создания требуемого освещения:

$$\Phi_L = \frac{E_H \cdot S \cdot k_z \cdot z}{10 \cdot 0,36} = 2333,33 \text{ лм} \quad (35)$$

Световой поток для одного светильника равен:

$$\Phi_{L1} = \frac{\Phi_L}{N} = \frac{2333}{4} = 583,33 \text{ лм} \quad (36)$$

Выберем светодиодный светильник ADV/K UNI LED 1200 4000K со степенью защиты IP65 в количестве 4 штук для обеспечения нормы освещения в аудитории. Схема расположения ламп приведена на рисунке 39.

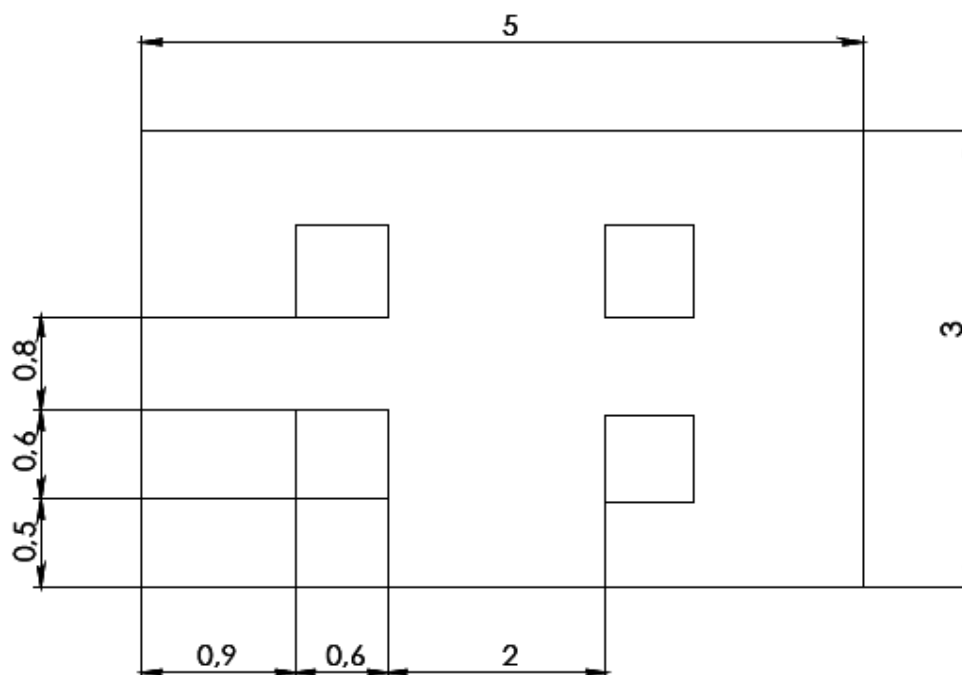


Рисунок 39 - Схема расположения ламп

4.3.4. Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса

Нервно-психические перегрузки являются следствием информационного взаимодействия в системе «пользователь – ПЭВМ». К основным нервно-психическим перегрузкам относятся повышенные зрительные напряжения; умственные и нервно-эмоциональные перегрузки; длительная концентрация внимания; монотонность труда (однообразие трудового процесса, повторяемость операций, отсутствие возможности переключения внимания или изменения вида работы). Поэтому, у конструктора при работе на ПК к концу рабочего дня возникают типичные ощущения: переутомление глаз, головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания. В связи с этим возникают нервно-психические перегрузки, такие как: раздражимость, нервозность, эмоциональная усталость и др. Правильное расположение элементов управления позволяет снизить неприятные ощущения конструктора, а также повысить продуктивность работы.

Поэтому для того, чтобы снизить воздействие этого вредного фактора на операторов следует располагать органы управления (пульты) в соответствии с ГОСТ 22269-76. Система «человек машина».

Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. Из этого документа следует, что при размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;
- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

Для уменьшения негативных последствий работы с ПЭВМ следует выбирать безопасные условия труда на ПЭВМ, указанные в МР 2.2.9.2311-07. Во время перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного и других анализаторов целесообразно выполнять комплексы физических упражнений, включая упражнения для глаз, в первой половине смены, а в конце рабочего дня показана психологическая разгрузка в специально оборудованных помещениях.

4.3.5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Источником фактора является устройство для проектирования – ПК.

Для того, чтобы исключить возникновения поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 2017 рекомендуется проводить организационные мероприятия, такие как:

- произвести изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;
- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;
- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности;
- проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием;
- обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами

Используемый для исследования ПК работает при напряжении 220 В. Это соответствует стандартному значению напряжения из ГОСТ 29322-2014 для электрооборудования постоянного тока.

4.4. Экологическая безопасность

4.4.1. Воздействие на селитебную зону

Санитарные нормы проектирования подразделяют промышленные производства на пять классов, каждому из которых соответствует своя санитарно-защитная зона по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Возможно спроектированное устройство, после данного исследования будет находиться на объекте – машиностроительный завод, который относится объектам V класса, то есть в пределах селитебной зоны. Если устройство будет располагаться в 50-ти метрах от жилых домов, то вредное влияние на селитебную зону будет в допустимом диапазоне.

4.4.2. Воздействие на атмосферу

В процессе работы возможно разработанное устройство воздействует на атмосферу. Но в процессе испарения смазывающей жидкости при эксплуатации или хранении происходит незначительное выделение синтетических масел. При этом, когда данное попадает в атмосферу, образуются токсичные соединения. Предельно допустимая концентрация «аэрозолей конденсации» в воздухе рабочей зоны не должна превышать 0,05 мг/м³, в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

В соответствии с ФЗ «Об охране атмосферного воздуха», Статья 16, пункт 3. Чтобы снизить вредное влияние токсических соединений в атмосфере необходимо установить санитарно-защитные зоны организации.

4.4.3. Воздействие на литосферу

На литосферу устройство оказывает вредное влияние, так как в процессе эксплуатации устройства СОЖ попадает на поверхность литосферы и происходит выделение тяжелых металлов. Один из химических компонентов СОЖ – Атразин, предельный уровень концентрации этого вещества не должен превышать 0,5 мкг/кг почвы по ГОСТ 17.4.1.02-83.

Загрязнение, возникающее от исследуемого устройства по ГОСТ Р 57447-2017 имеет слабую степень загрязнения - грунт почти не загрязняет руки; окраска грунта почти такая же, как и у соответствующего незагрязненного. При такой органолептической характеристике загрязненной почвы рекомендуют проведение агротехнических мероприятий, направленных на активизацию естественного очищения почв, либо оставление участков на самовосстановление.

4.5.Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для рабочего места за ПК наиболее вероятной и типичной ЧС является пожар. Соответственно, защита в ЧС в данном случае может быть рассмотрена как защита от пожара. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76.

Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использования принципов обеспечения безопасности. Для устранения возможности пожара в помещении необходимо соблюдать противопожарные меры:

- применение средств пожаротушения;
- использование пожарной сигнализации;
- наличие в помещении средств пожаротушения (огнетушители типа ОУ-3, пожарный инструмент, песок) и содержание их в исправном состоянии;

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела диссертационной работы «Социальная ответственность» выявлено, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

С точки зрения ПУЭ помещение для исследования относится к категории: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

В представленной работе выбраны:

- Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок определена: Группа I.

- Категория тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 категория I – легкие физические работы.

- Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 для проведения исследования: Г умеренная пожаро-опасность.

- Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду: объект относится к объектам III категории.

Список использованных источников

1. Ли Ян. Влияние геометрии концевых фрез на их напряжённо - деформированное состояние при резании стали – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – стр 18-19.
2. Костин П.Н., Лукьянов А.В. Коррекция частоты вращения шпинделя при фрезеровании по данным численного моделирования системы: приспособление-инструмент-заготовка Костин П.Н., Лукьянов А.В.
3. Игнатьев А.А., Самойлова Е.М., Захарченко М.Ю.. Модель автокорреляционной функции виброакустических колебаний при резании в динамической системе станка. Часть 2. 2015 г.
4. Зелинский С.А., Морозов Ю.А., Серебряный Ю.А.. Математическая модель процесса контурного фрезерования нежестких деталей Зелинский С.А., Морозов Ю.А., Серебряный Ю.А., 2015 г.
5. Заковоротный В.Л., Гвинджилия В.Е.. Влияние биений шпиндельной группы на притягивающие множества деформационных смещений инструмента при точении // Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация 2017 г.
6. Дядя С.И.. Исследование механизма возбуждения автоколебаний при концевом фрезеровании тонкостенного элемента детали. Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье. 2017 г.
7. Воронов С.А., Непочатов А.В., Киселев И.А.. Критерии оценки устойчивости процесса фрезерования нежестких деталей. // Известия высших учебных заведений. 2010 г.

8. Воронов С.А., Иванов И.И., Киселев И.А. Исследование процесса фрезерования на основе редуцированной динамической модели инструмента./ Проблемы машиностроения и надежности машин № 1, 2015.

9. Колоскова А.В., Киселёв И.А., Иванов И.И. Моделирование динамики процесса точения с учетом податливости обрабатываемой детали // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN217.pdf> (доступ свободный).

10. Иванов И.И., Воронов С.А., Киселев И.А. Моделирование динамики фрезерования с управлением скоростью вращения шпинделя. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, г.Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1 2015 г.

11. Колоскова А.В., Киселёв И.А., Иванов И.И. Моделирование динамики процесса точения с учетом податливости обрабатываемой детали // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017 г) <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN217.pdf> (доступ свободный).

12. Иванов И.И., Воронов С.А., Николаев С.М., Куць В.А. Моделирование вибраций при плоском фрезеровании с коррекцией частоты вращения в режиме реального времени. / Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э.

Баумана. Электрон. журн. 2017. № 03. С. 1–16. 2017г.

13. Куць В.А., Николаев С.М., Иванов И.И. Метод детектирования автоколебаний узлов технологической системы при фрезерной обработке. Часть 1: Описание и апробация алгоритма детектирования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016)
<http://naukovedenie.ru/PDF/132TVN616.pdf> (доступ свободный).

14. Расчет режимов резания при механической обработке металлов и сплавов [Э.Г. Бабенко].pdf

15. Иванов И.И., Воронов С.А., Киселев И.А. Моделирование динамики фрезерования с управлением скоростью вращения шпинделя. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, г.Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1 2015 г.

16. Справочник технолога том 1 (Косилова А.Г.).djvu]

17. Справочник технолога том 2 (Косилова А.Г.).djvu,

18. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

19. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

20. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

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

22. ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы производственные. Общие требования безопасности

23. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

24. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений/

25. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.

26. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.

27. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

28. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями).

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

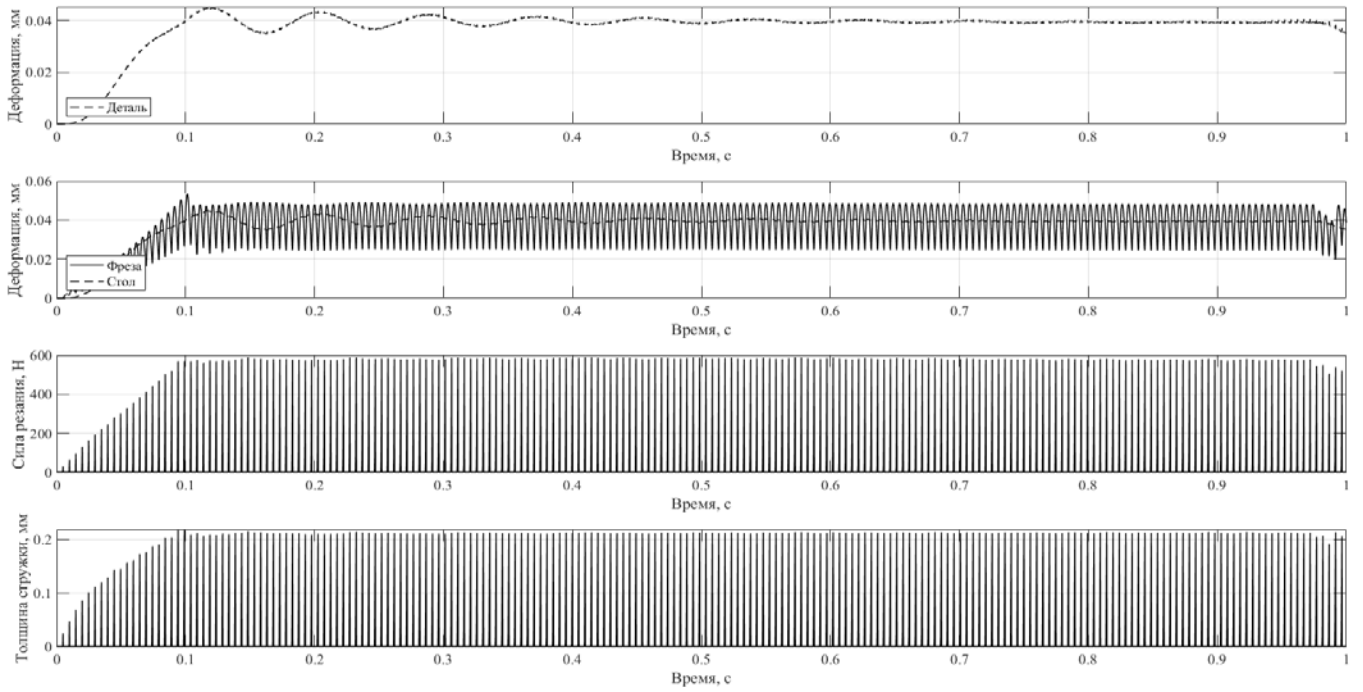
30. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - № 1 (ч. 1). - Ст. 3.

Приложение А

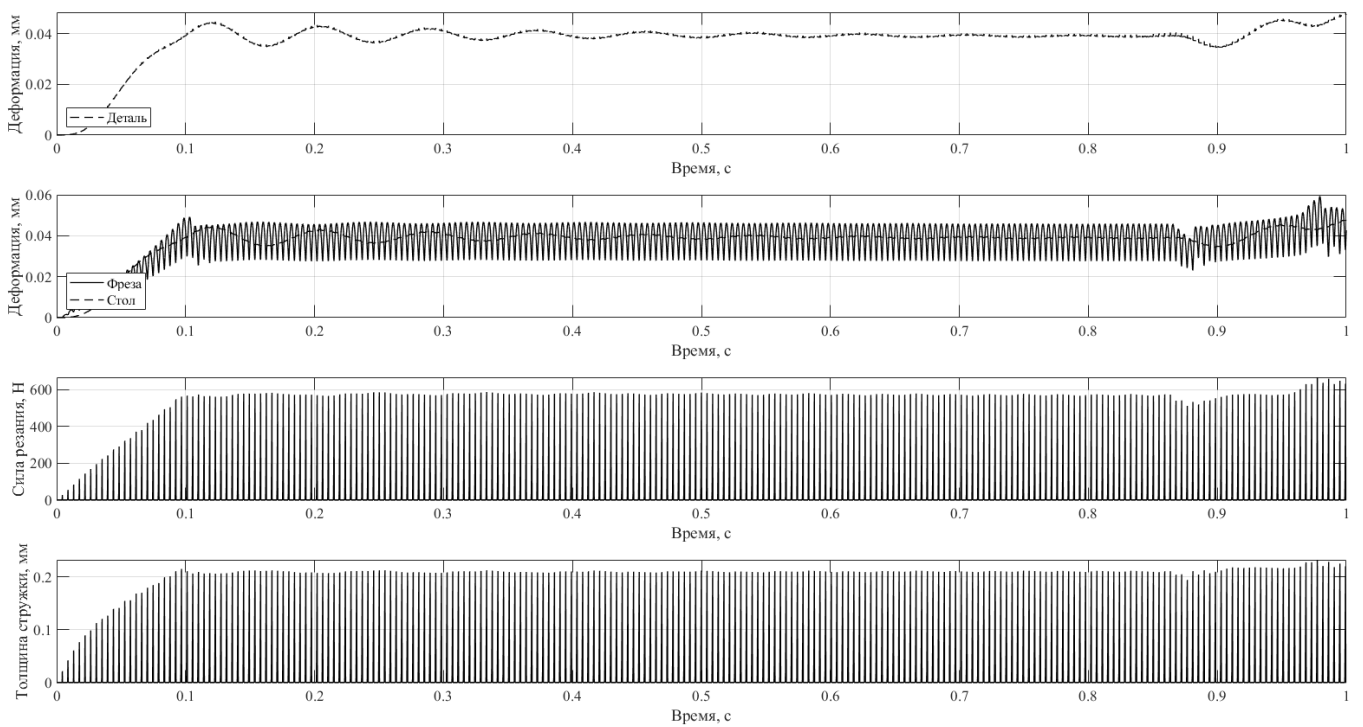
Скорость резания, м/мин	Частота вращения, об/мин	Угловая скорость вращения фрезы, рад/сек
26,7	4000	637
30,0	4500	717
33,3	5000	796
36,7	5500	876
40,0	6000	955
43,3	6500	1035
46,7	7000	1115
50,0	7500	1194
53,3	8000	1274
56,7	8500	1354
60,0	9000	1433
63,3	9500	1513
66,7	10000	1592
70,0	10500	1672
73,3	11000	1752
76,7	11500	1831
80,0	12000	1911
83,3	12500	1990
86,7	13000	2070
90,0	13500	2150
93,3	14000	2229
96,7	14500	2309
100,0	15000	2389
103,3	15500	2468
106,7	16000	2548
110,0	16500	2627
113,3	17000	2707
116,7	17500	2787
120,0	18000	2866
123,3	18500	2946
126,7	19000	3025
130,0	19500	3105
133,3	20000	3185
136,7	20500	3264
140,0	21000	3344
143,3	21500	3424
146,7	22000	3503
150,0	22500	3583
153,3	23000	3662
156,7	23500	3742
160,0	24000	3822

Приложение Б

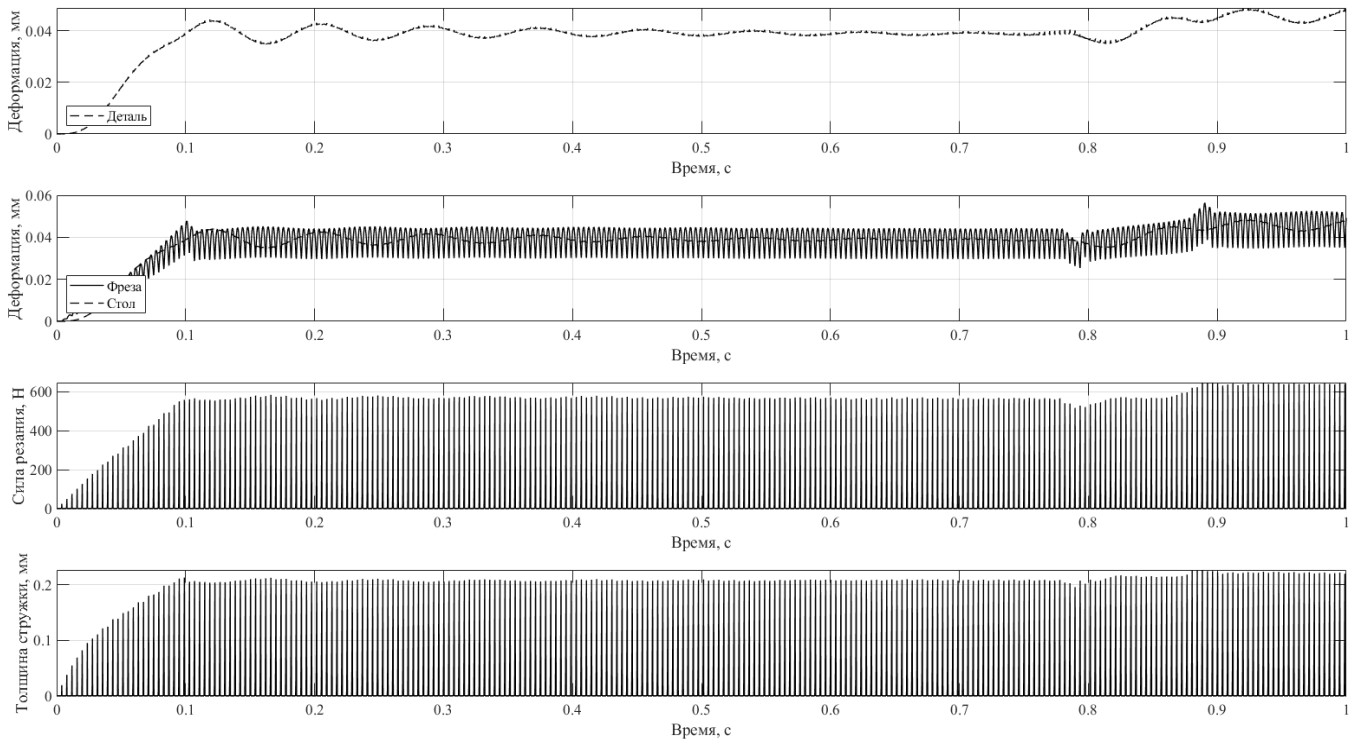
Угловая скорость вращения фрезы 637 об/сек.



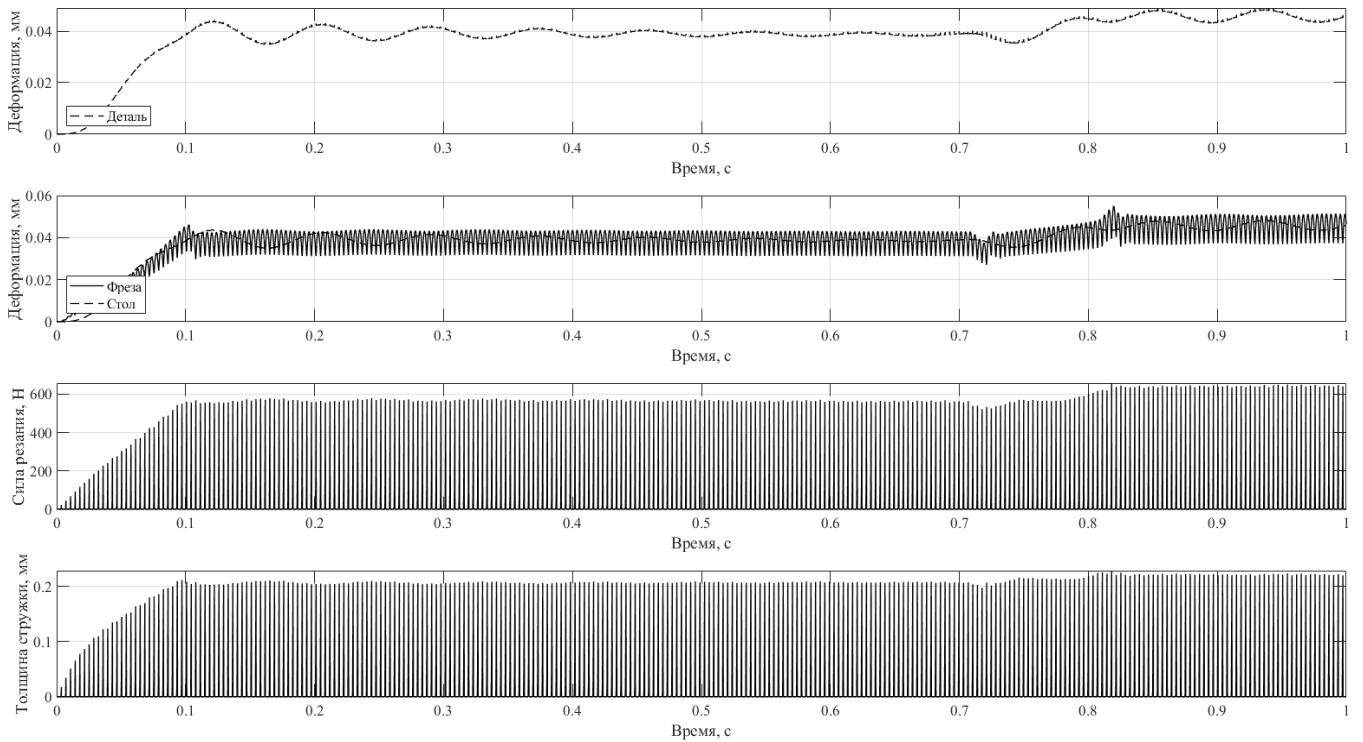
Угловая скорость вращения фрезы 717 об/сек.



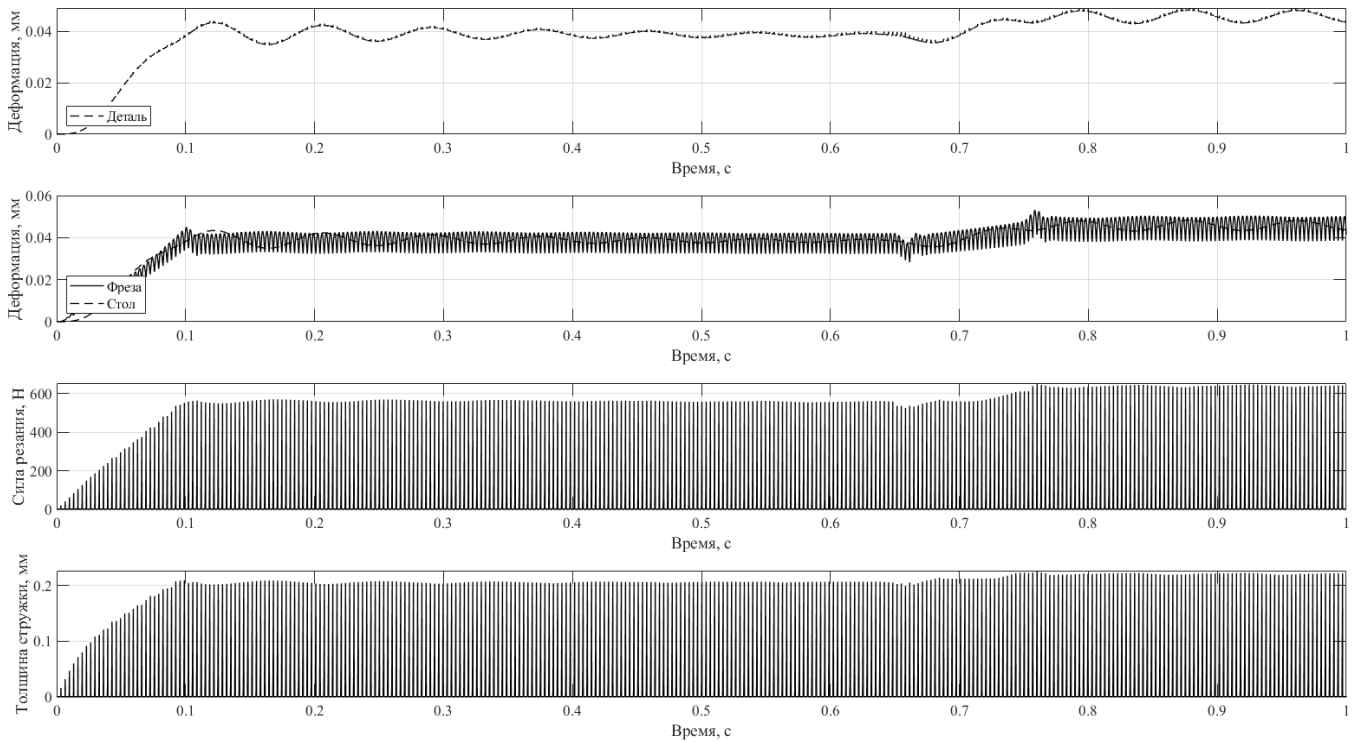
Угловая скорость вращения фрезы 796 об/сек.



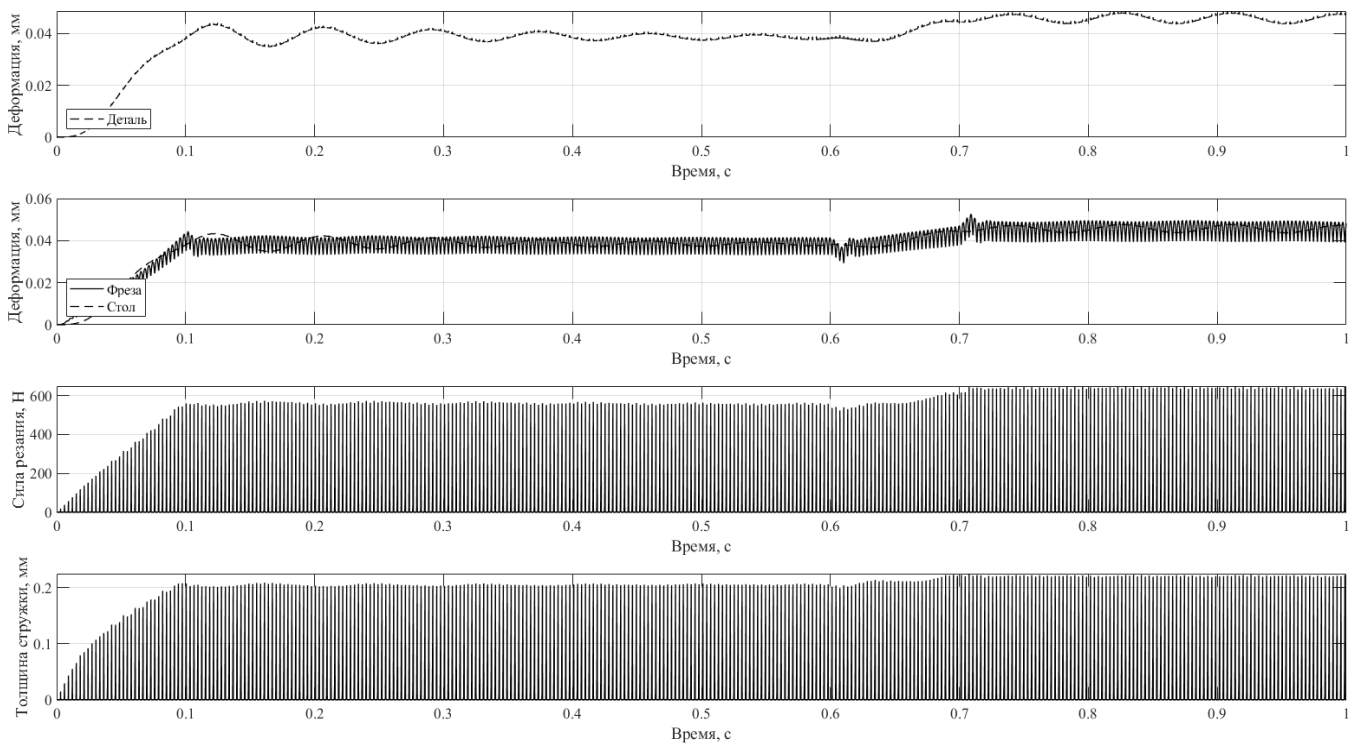
Угловая скорость вращения фрезы 876 об/сек.



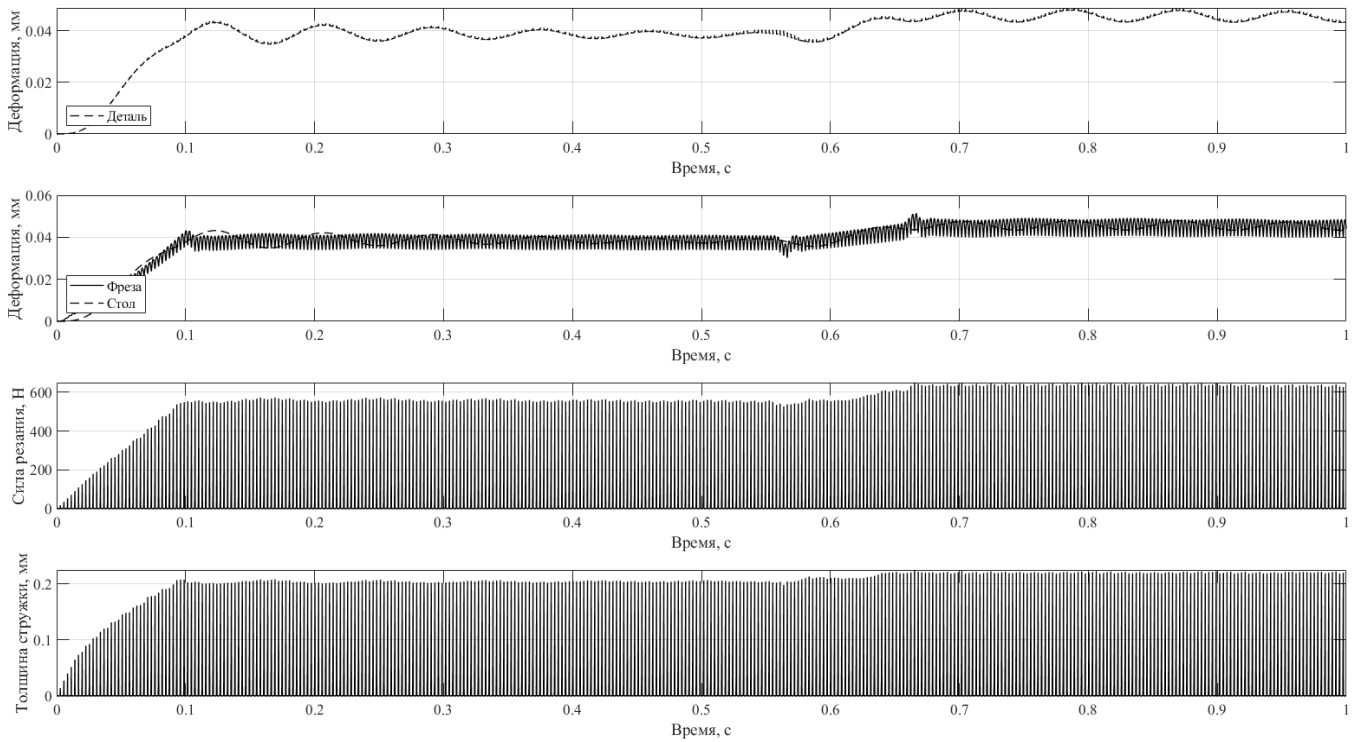
Угловая скорость вращения фрезы 955 об/сек.



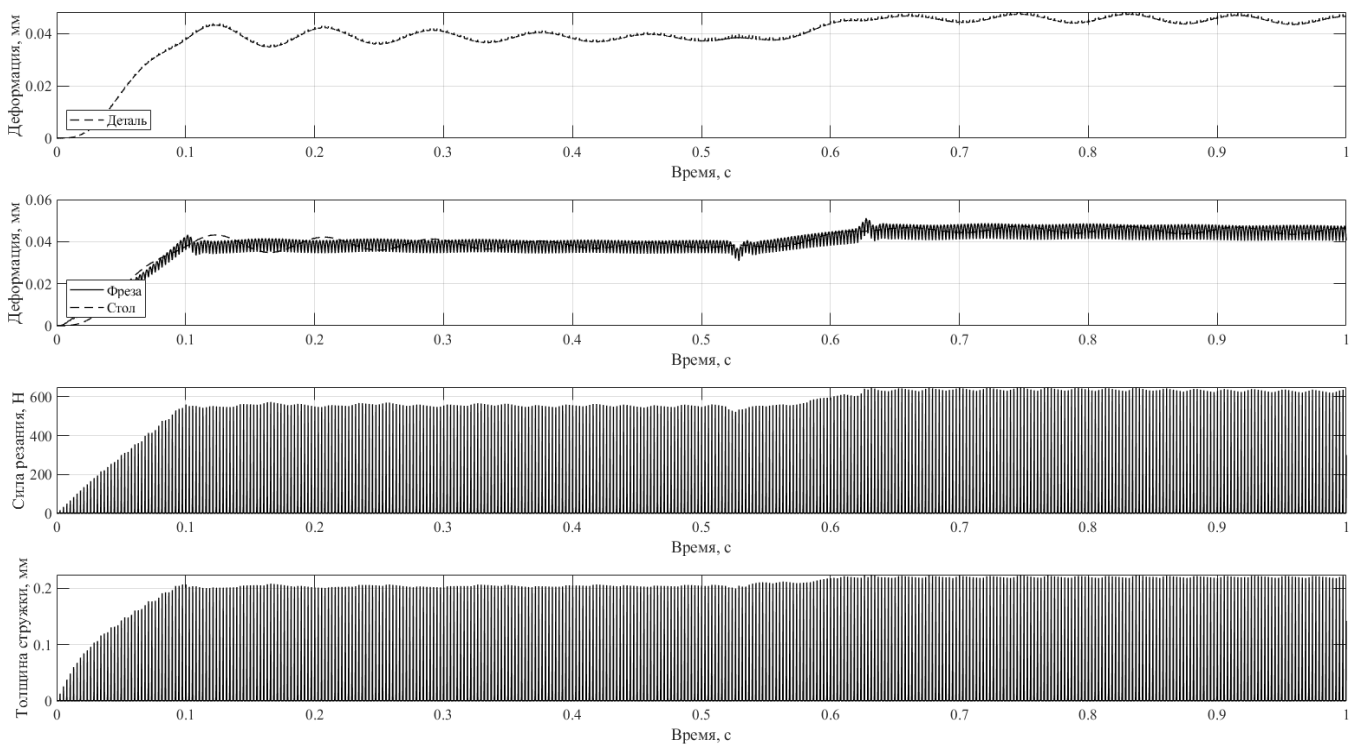
Угловая скорость вращения фрезы 1035 об/сек.



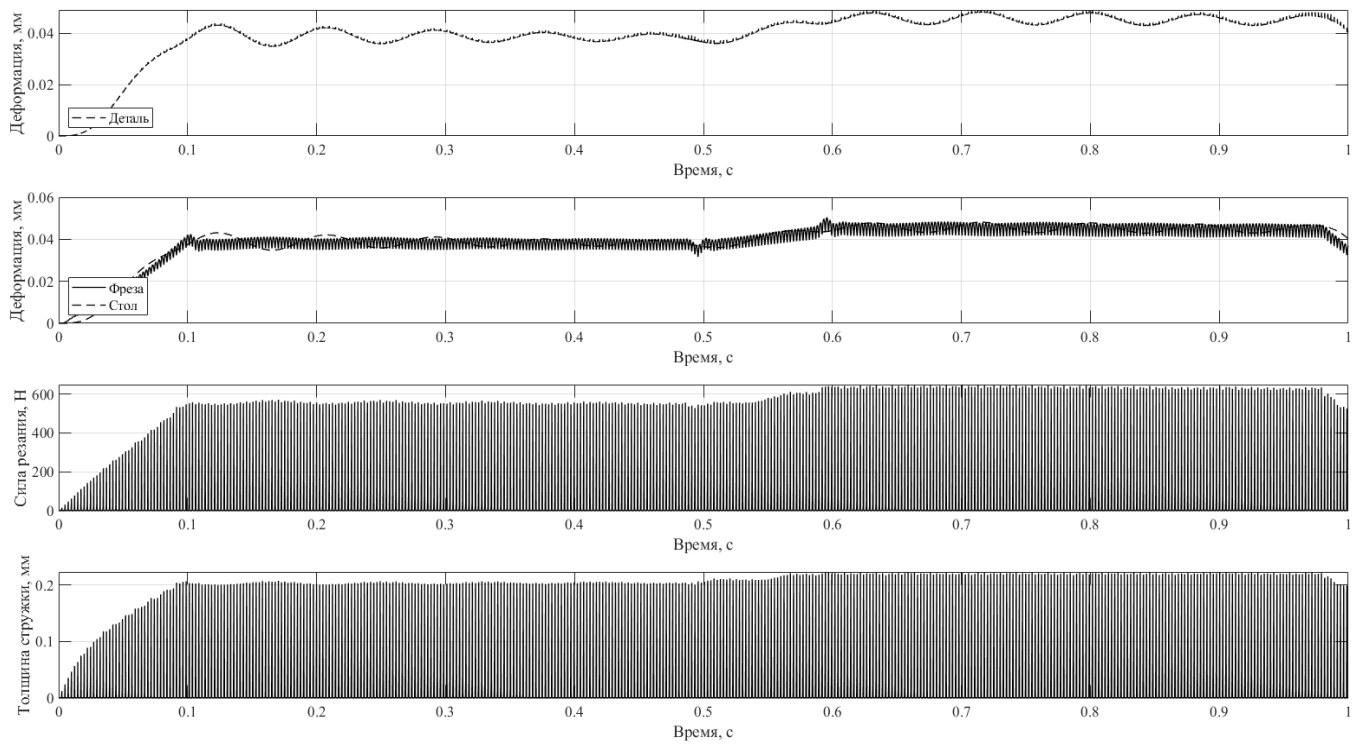
Угловая скорость вращения фрезы 1115 об/сек.



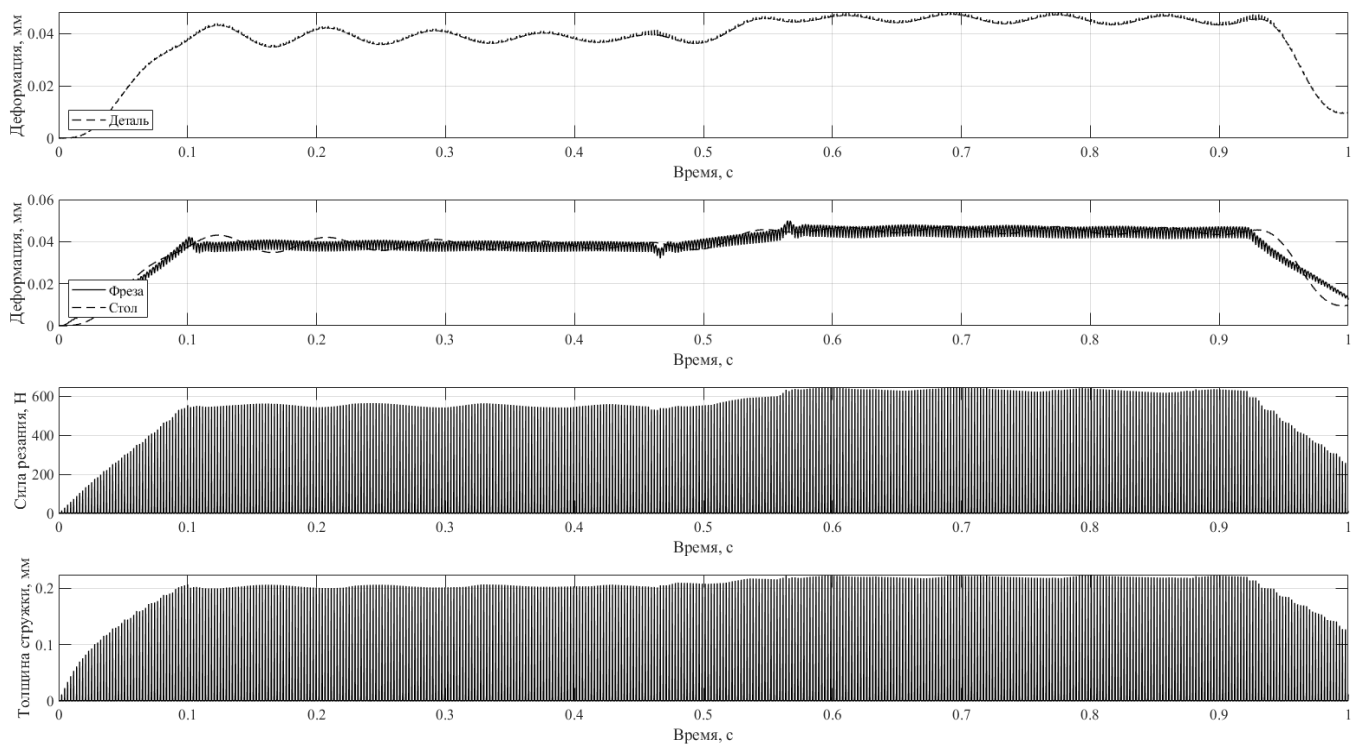
Угловая скорость вращения фрезы 1194 об/сек.



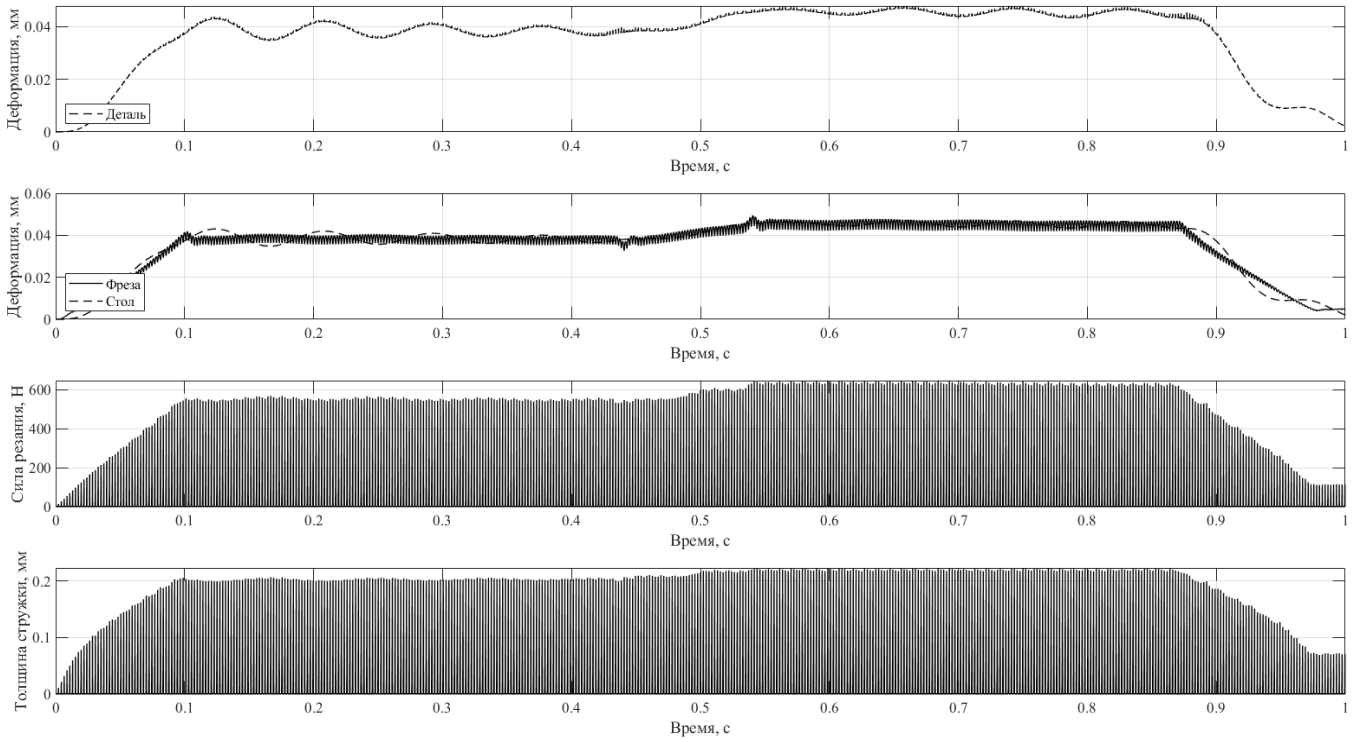
Угловая скорость вращения фрезы 1274 об/сек.



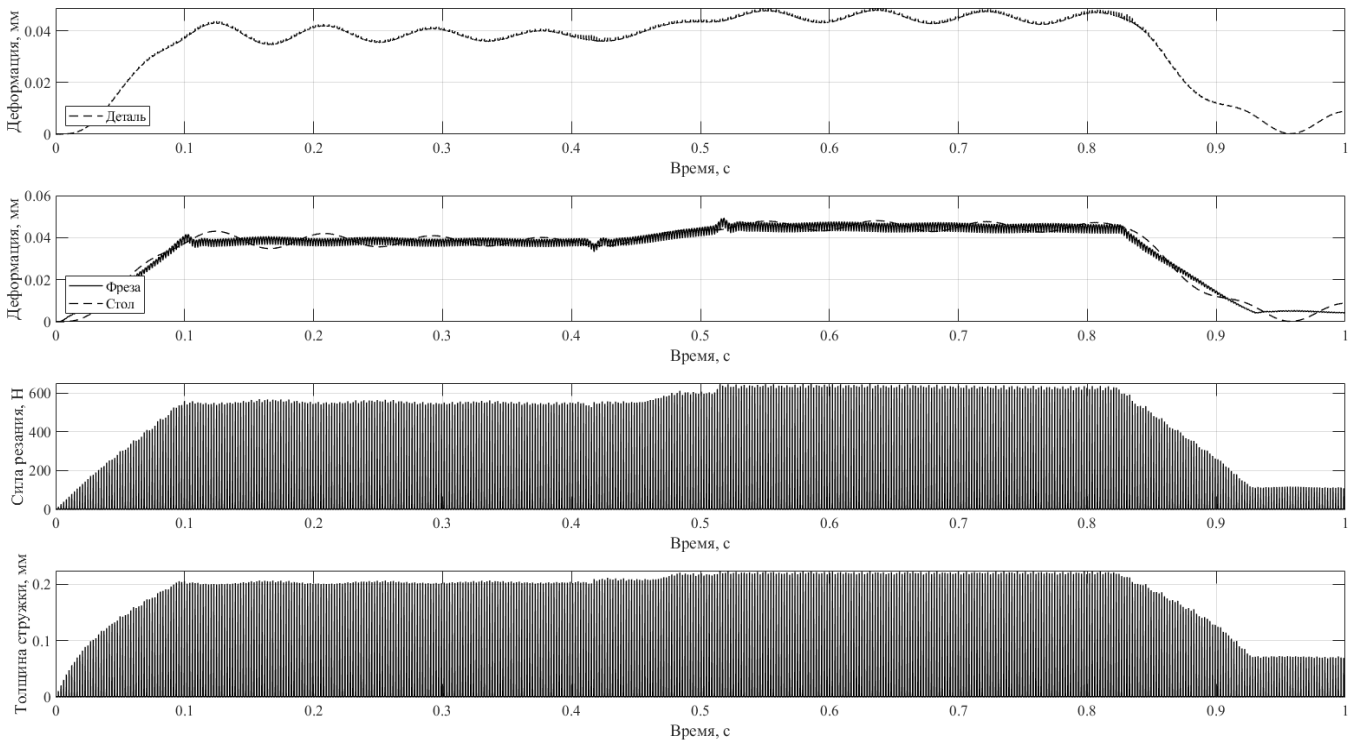
Угловая скорость вращения фрезы 1354 об/сек.



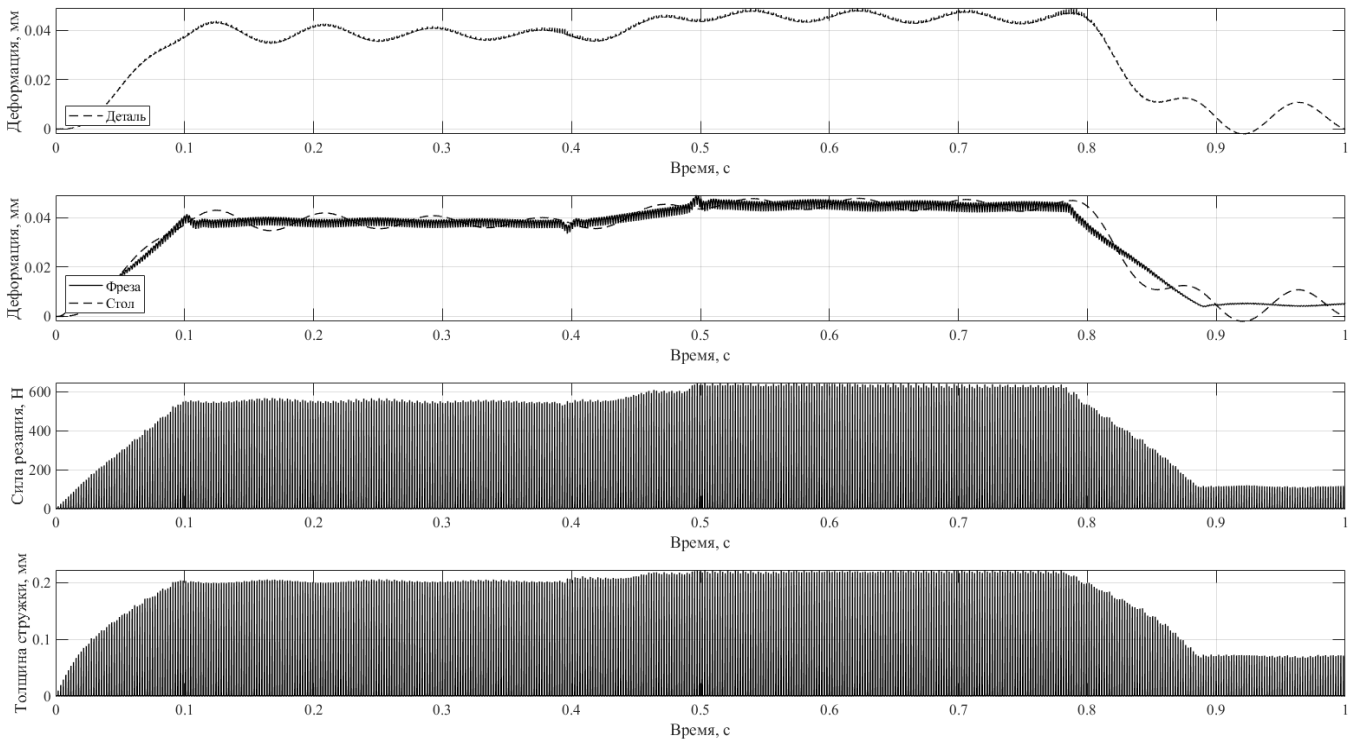
Угловая скорость вращения фрезы 1433 об/сек.



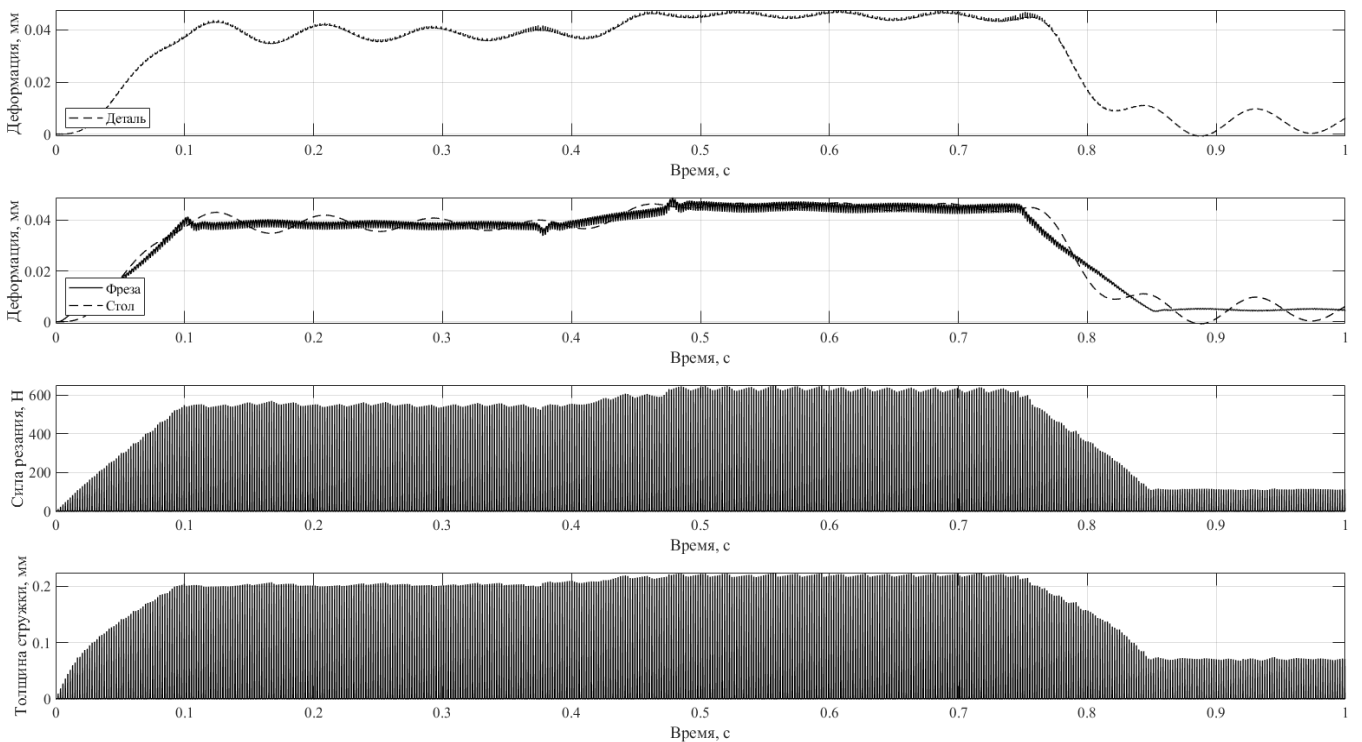
Угловая скорость вращения фрезы 1513 об/сек.



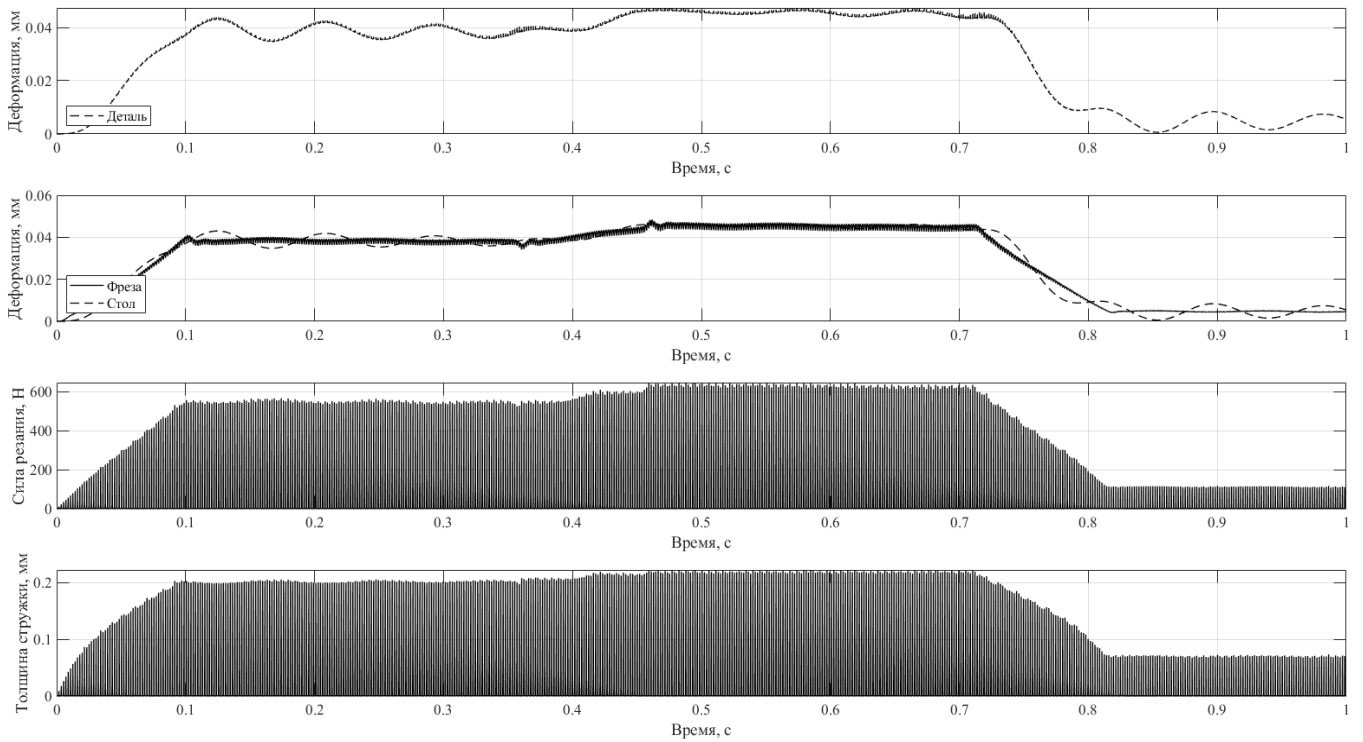
Угловая скорость вращения фрезы 1592 об/сек.



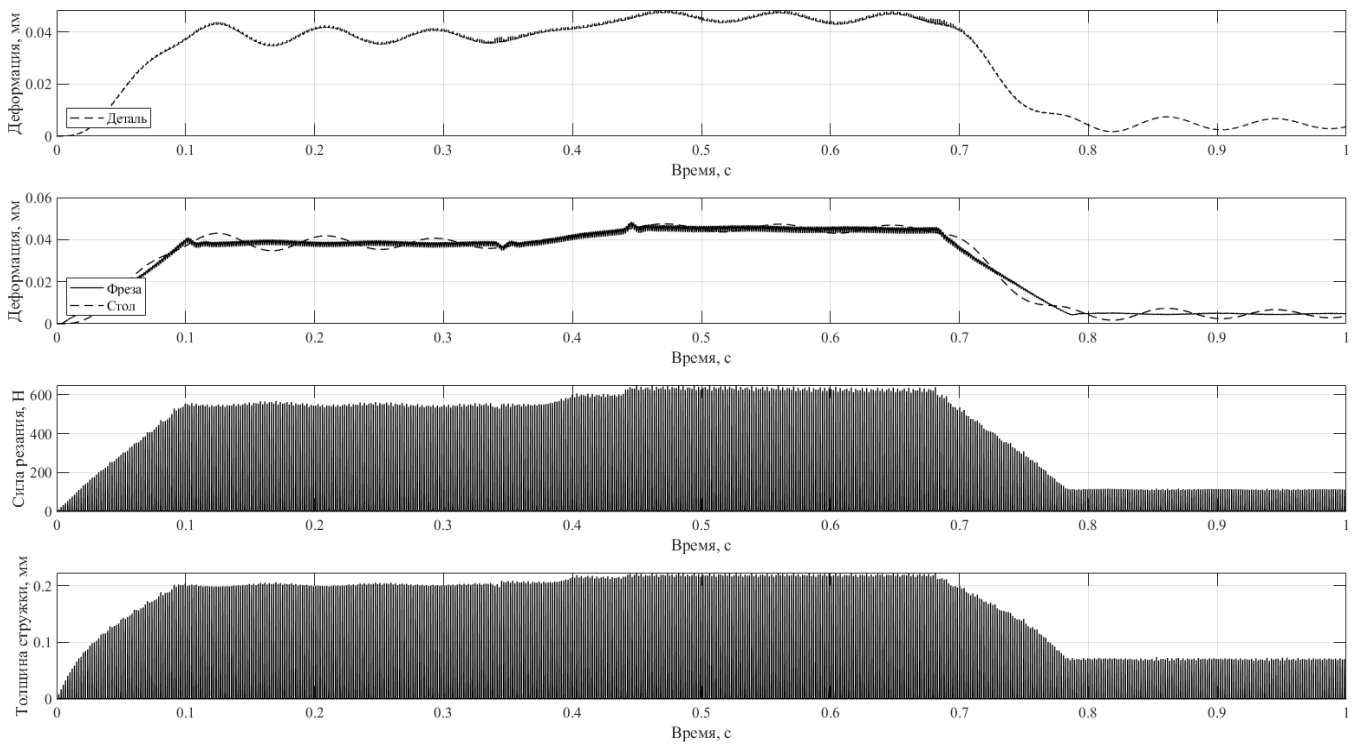
Угловая скорость вращения фрезы 1672 об/сек.



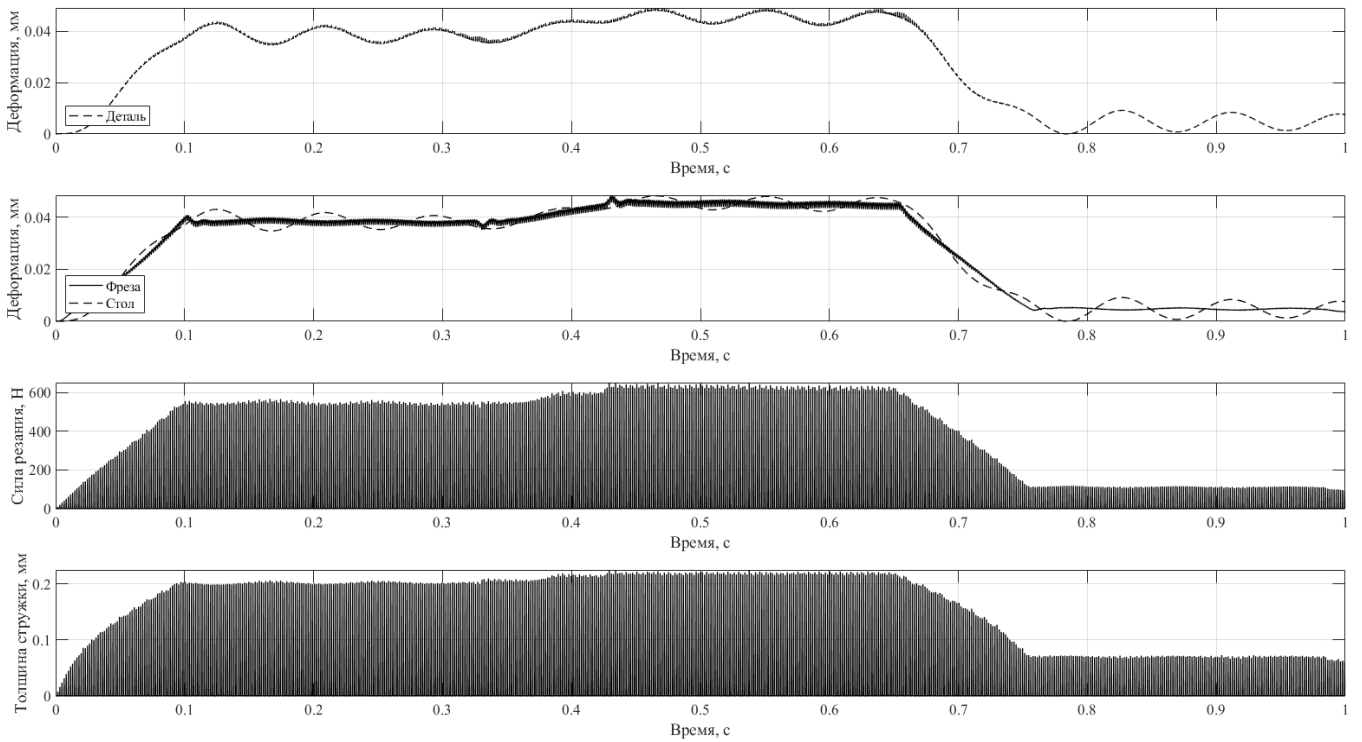
Угловая скорость вращения фрезы 1752 об/сек.



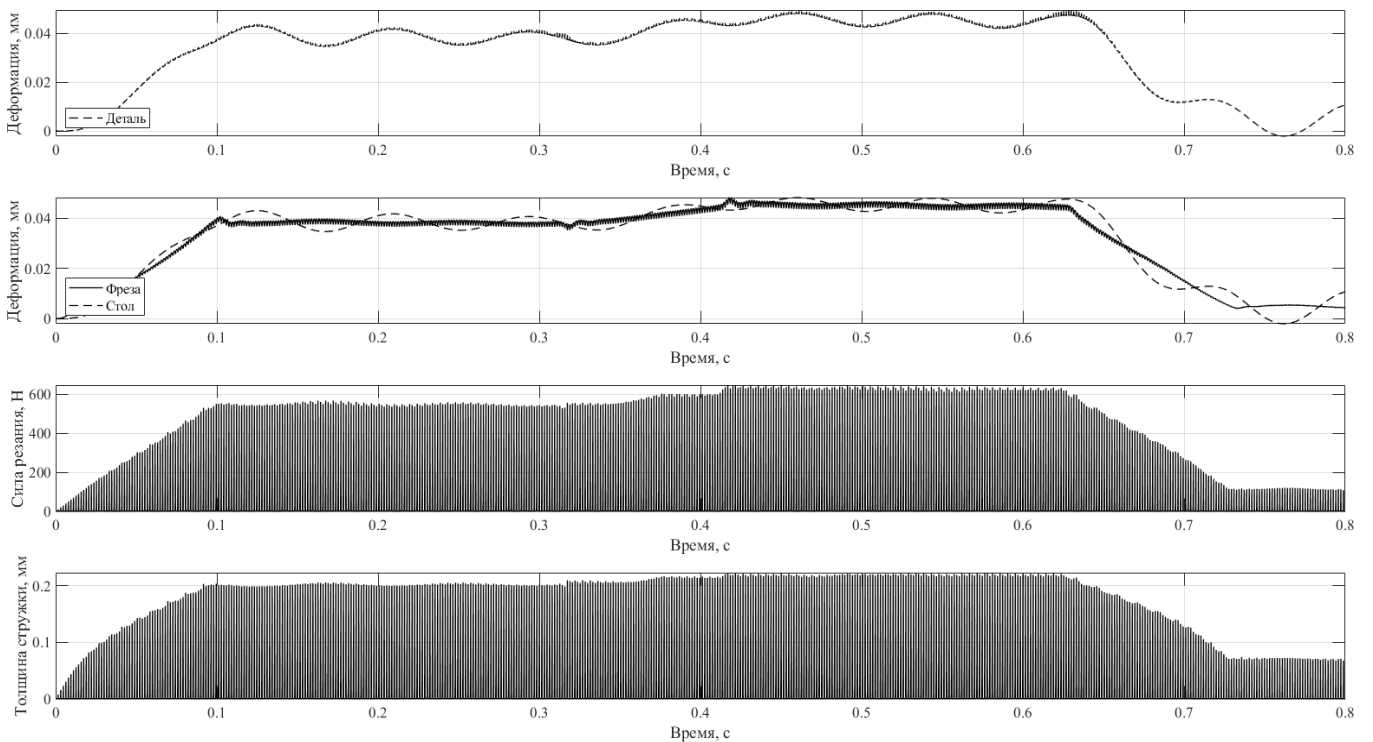
Угловая скорость вращения фрезы 1831 об/сек.



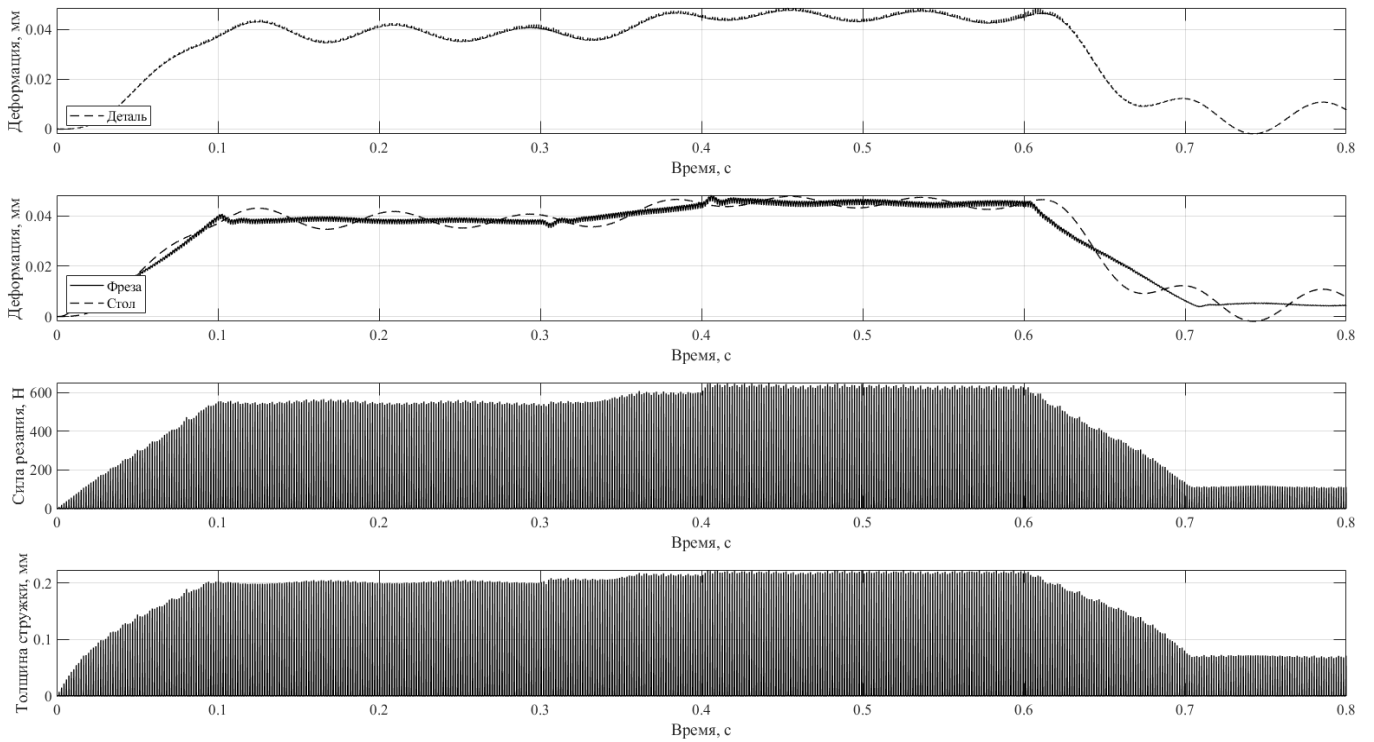
Угловая скорость вращения фрезы 1911 об/сек.



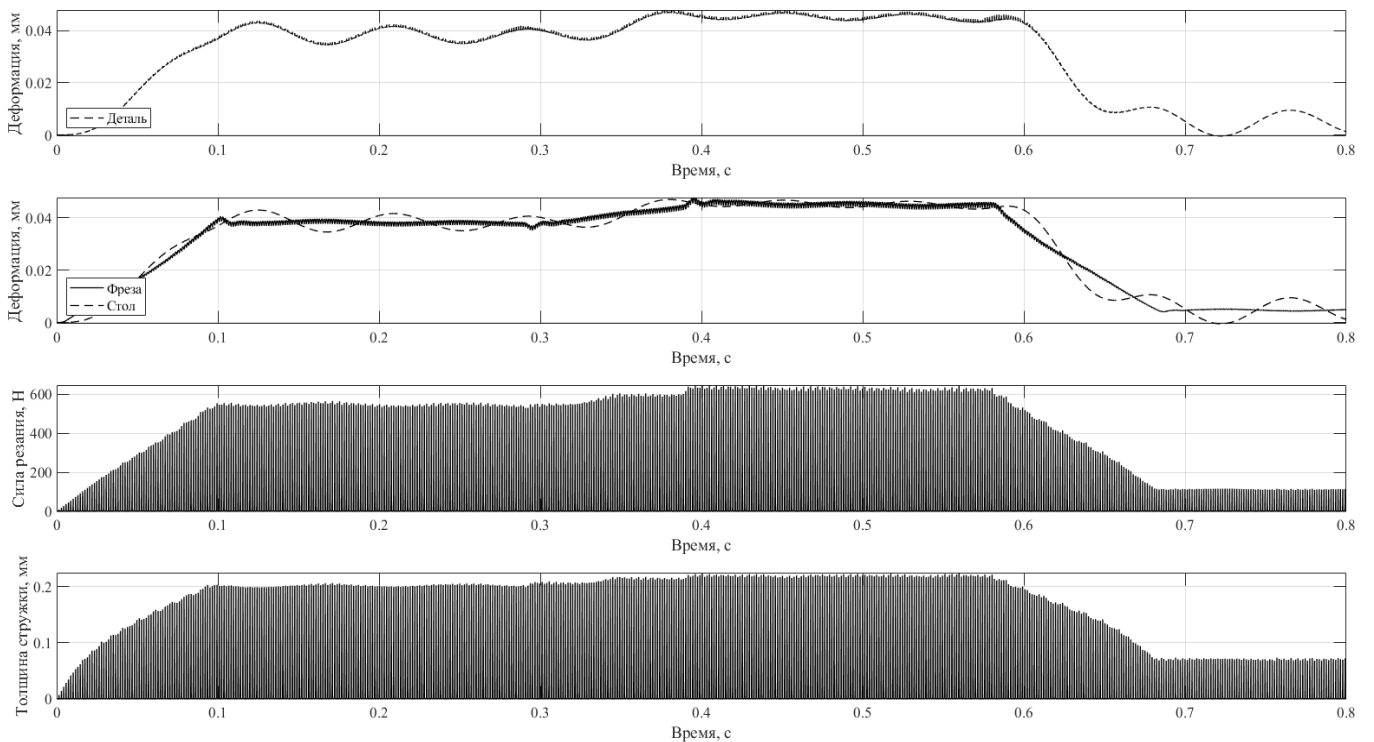
Угловая скорость вращения фрезы 1990 об/сек.



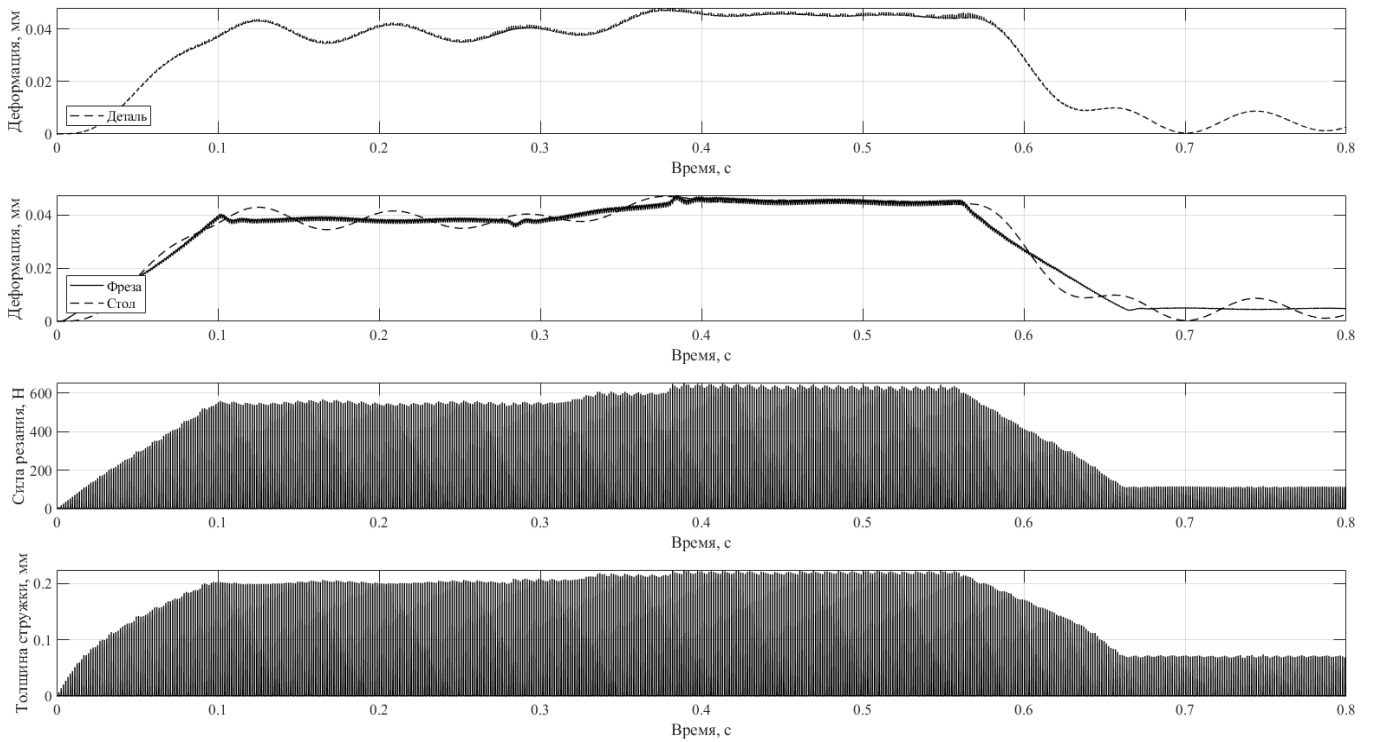
Угловая скорость вращения фрезы 2070 об/сек.



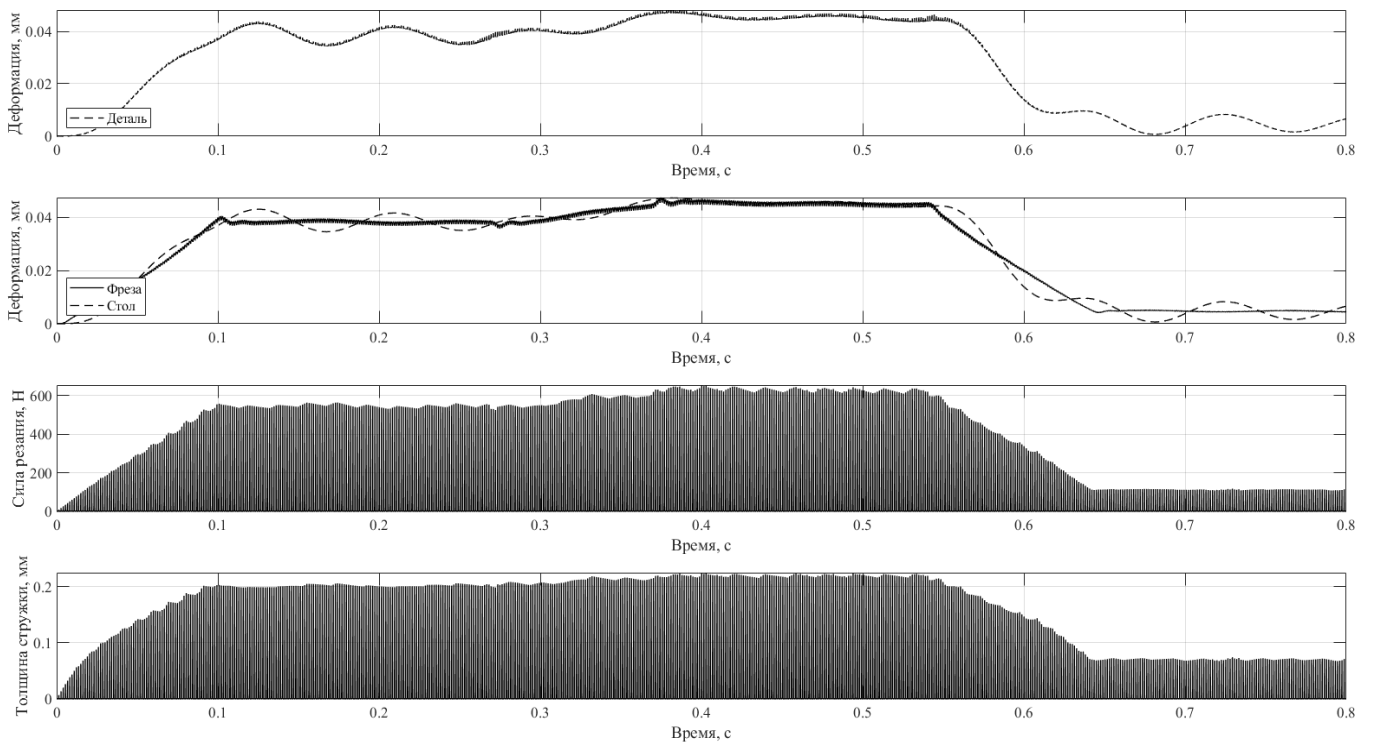
Угловая скорость вращения фрезы 2150 об/сек.



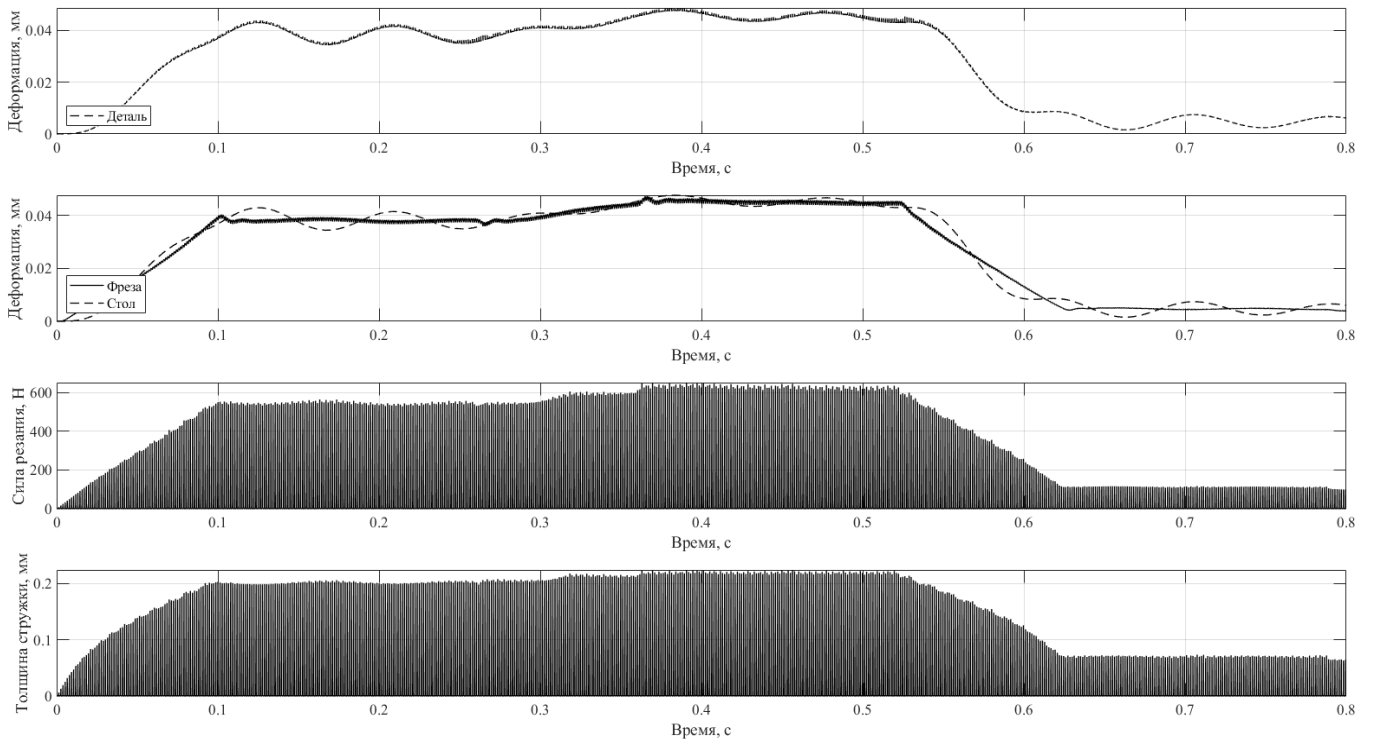
Угловая скорость вращения фрезы 2229 об/сек.



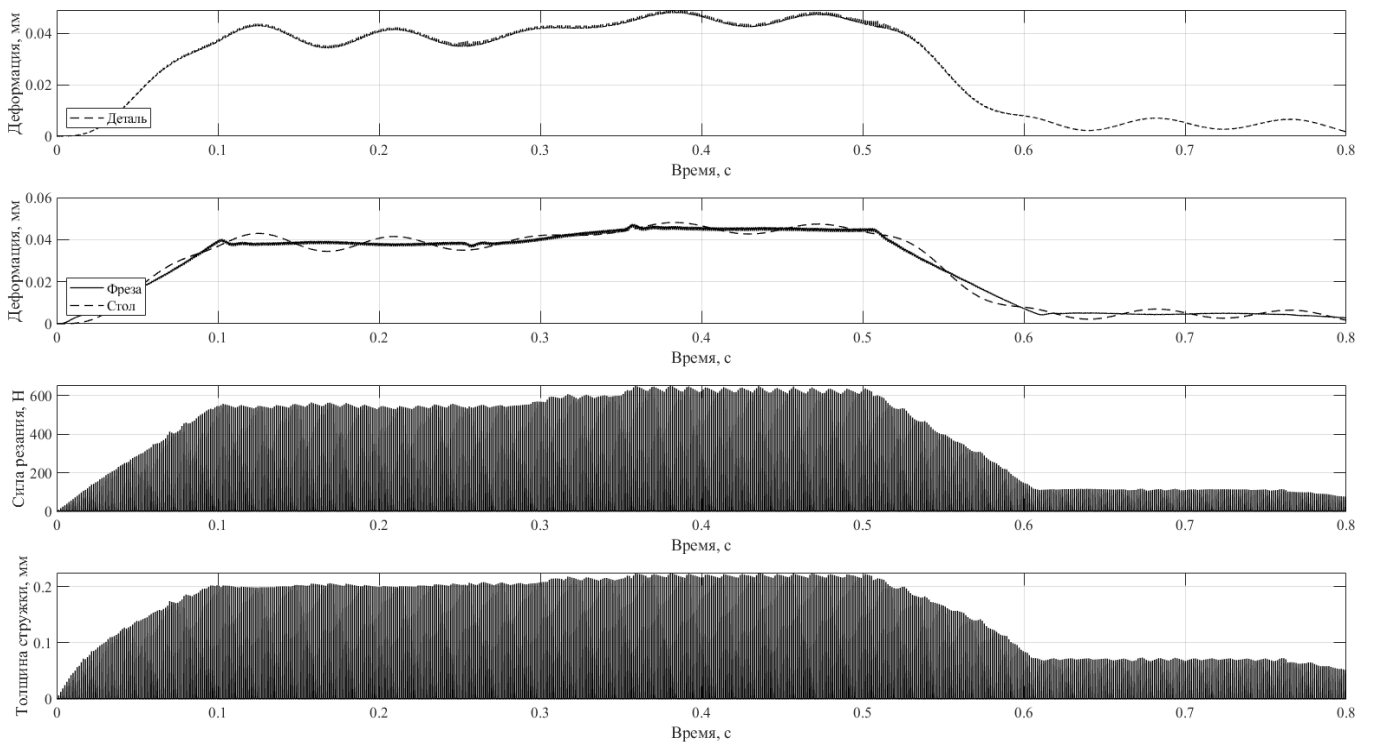
Угловая скорость вращения фрезы 2309 об/сек.



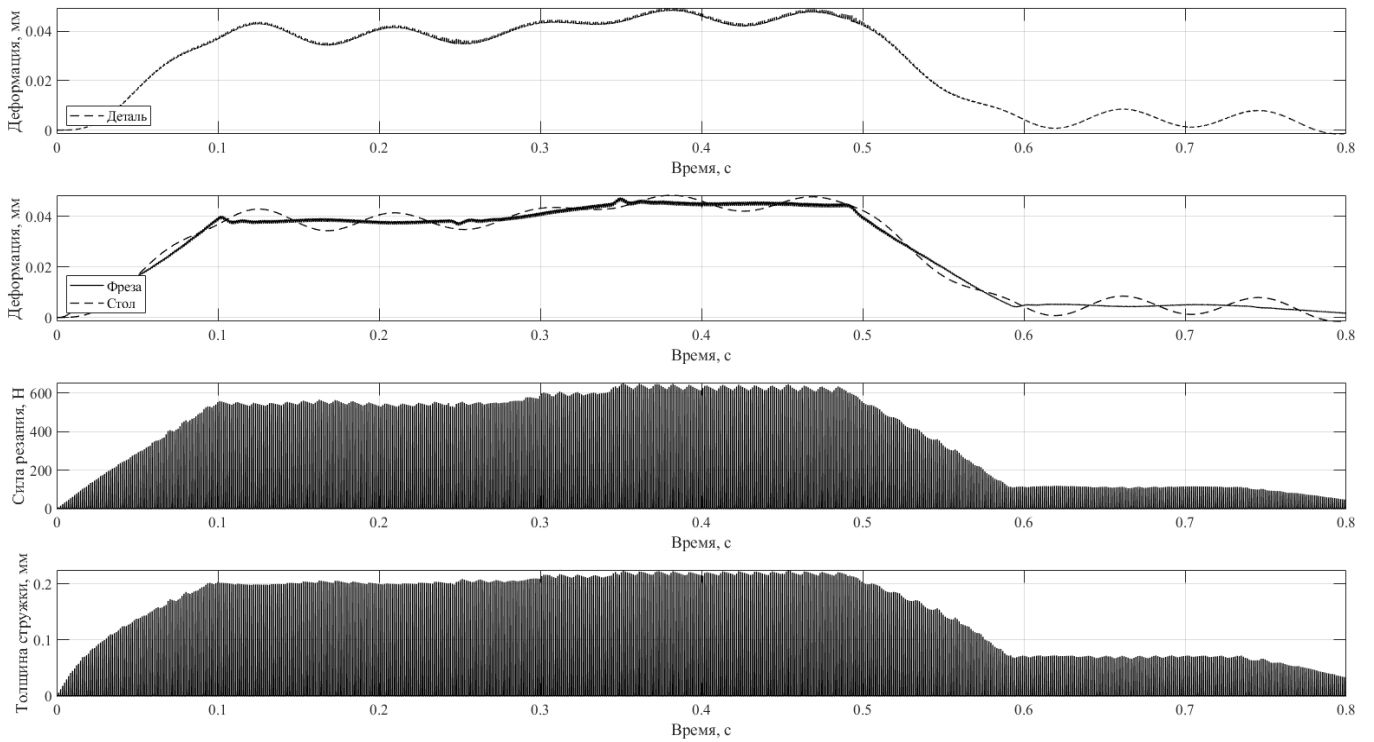
Угловая скорость вращения фрезы 2389 об/сек.



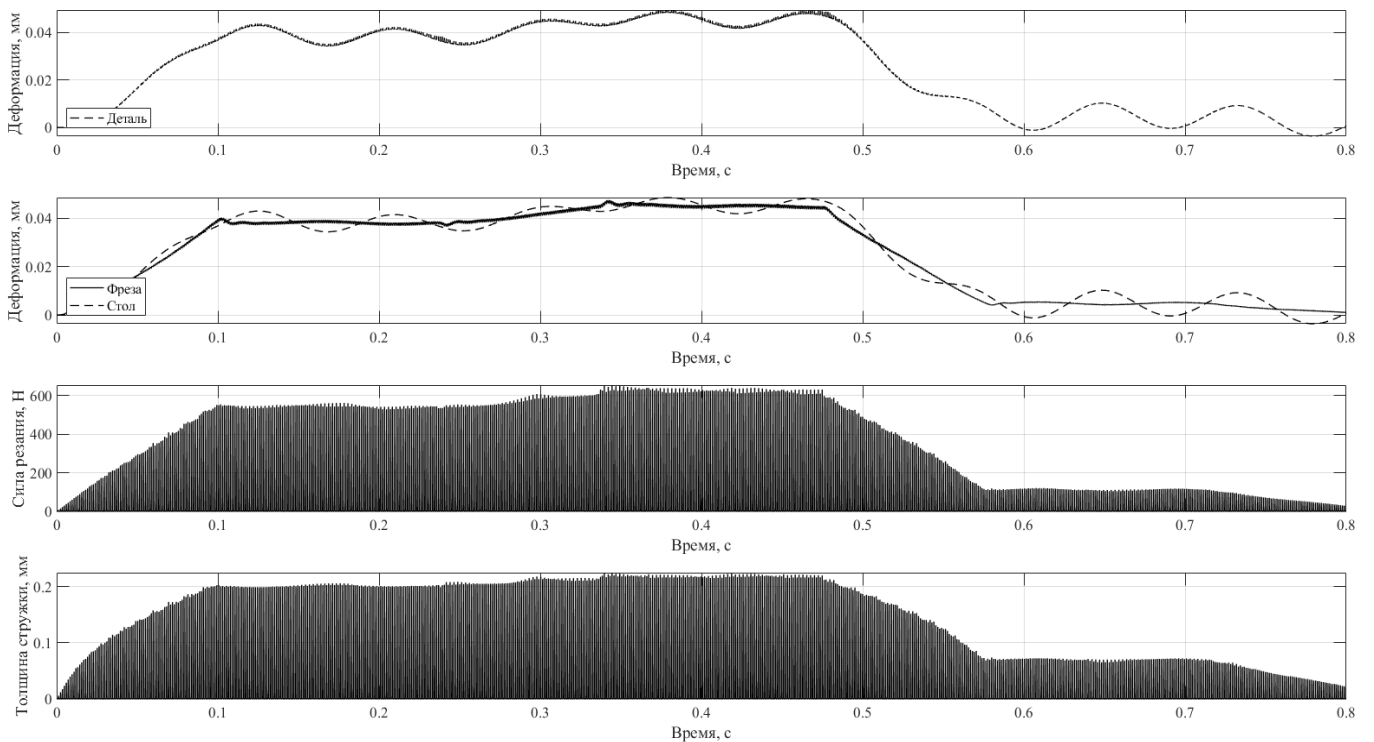
Угловая скорость вращения фрезы 2468 об/сек.



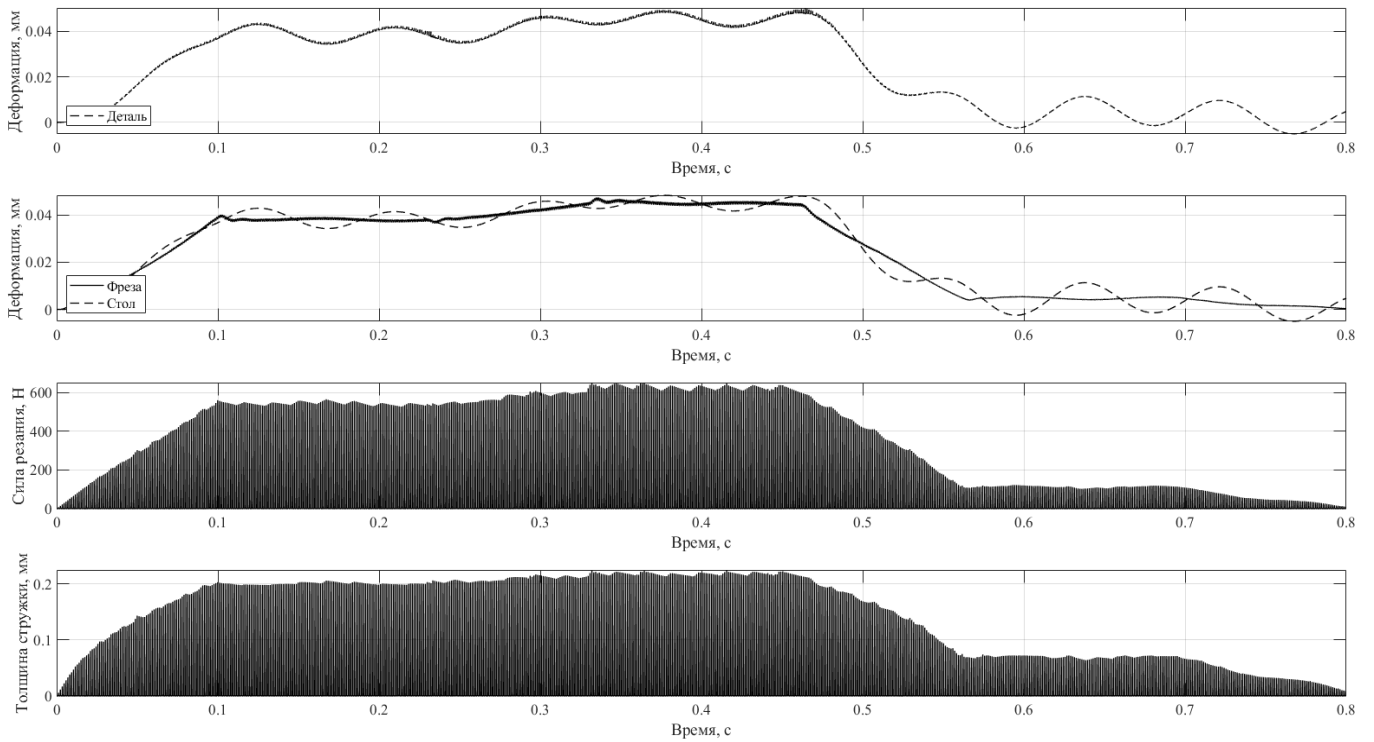
Угловая скорость вращения фрезы 2548 об/сек.



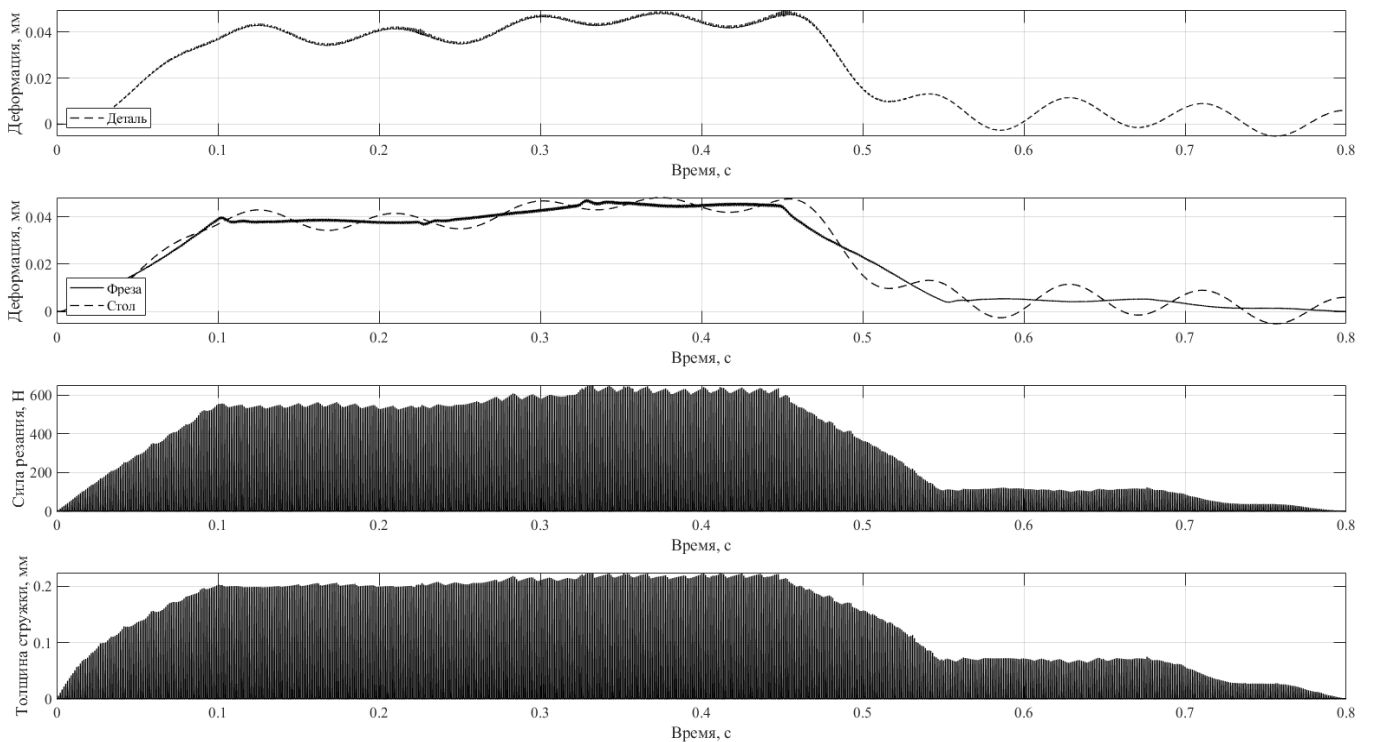
Угловая скорость вращения фрезы 2627 об/сек.



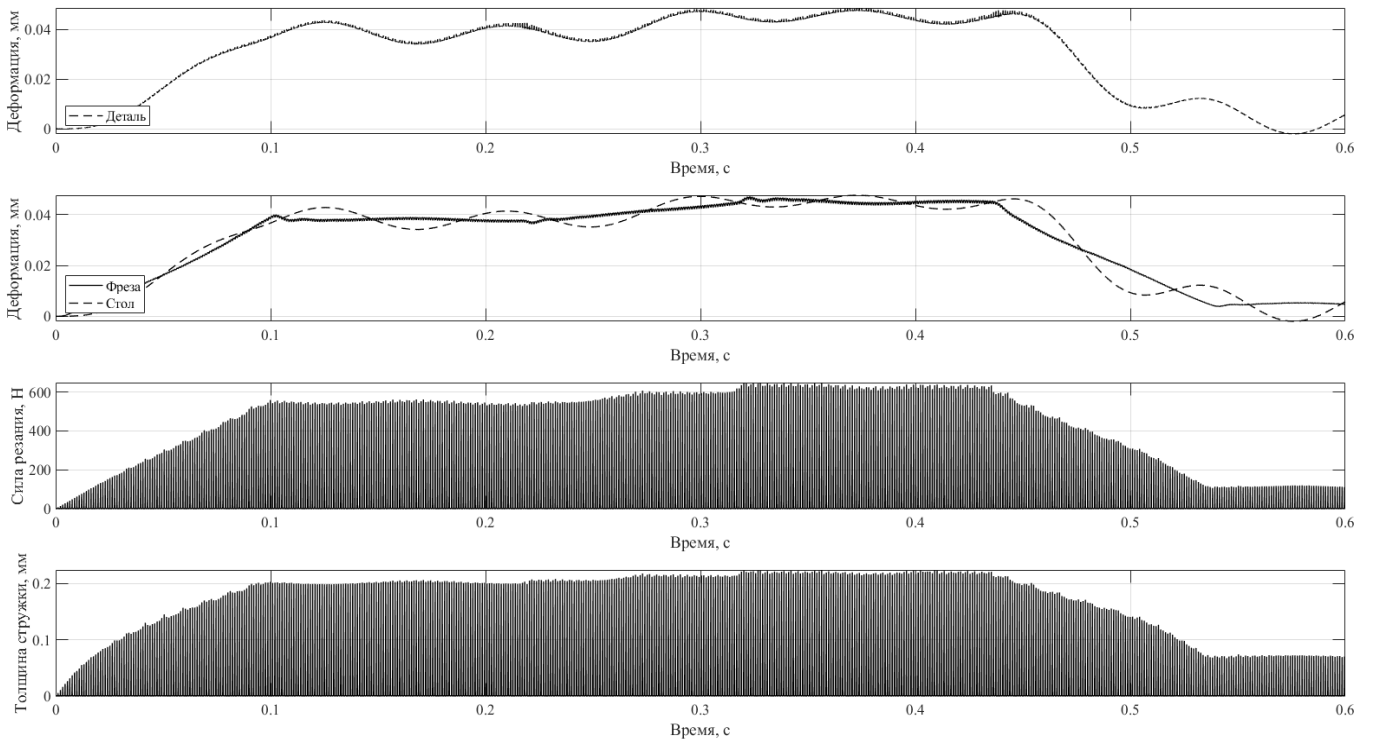
Угловая скорость вращения фрезы 2707 об/сек.



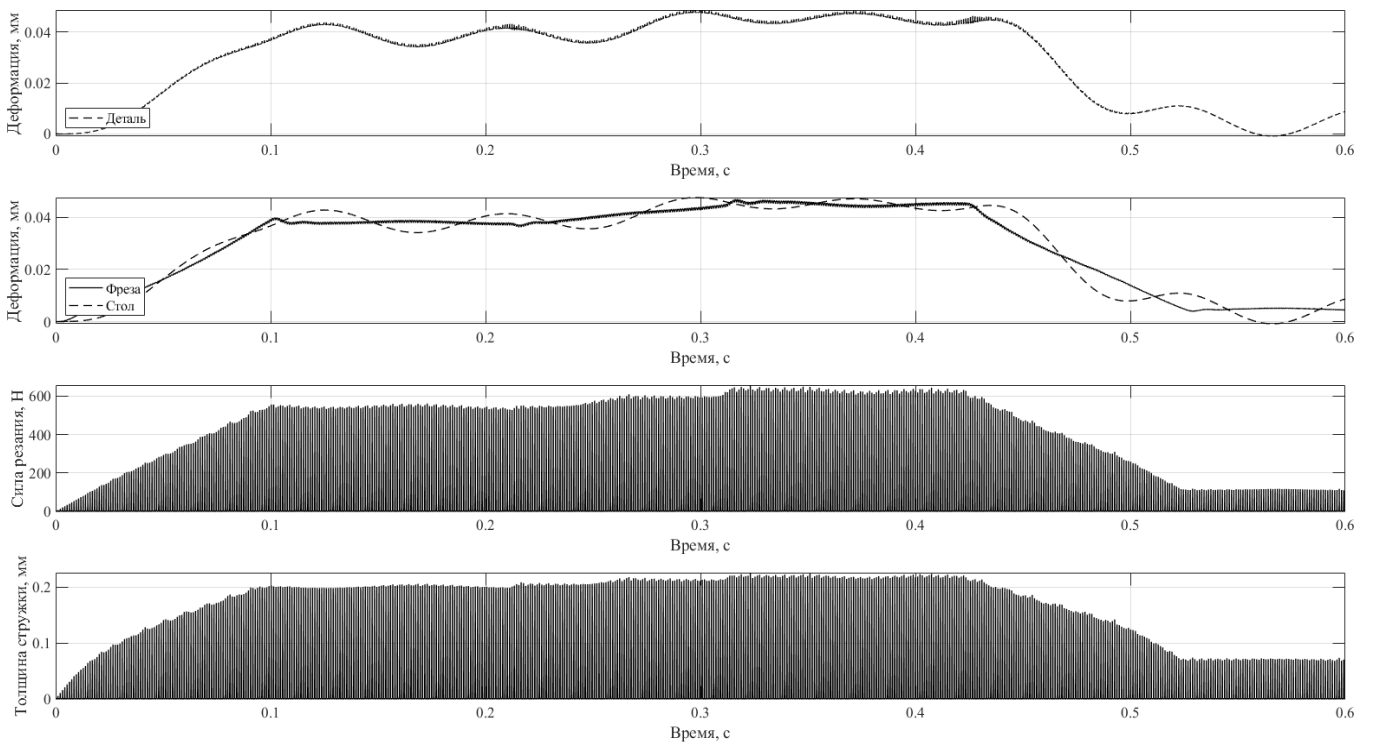
Угловая скорость вращения фрезы 2787 об/сек.



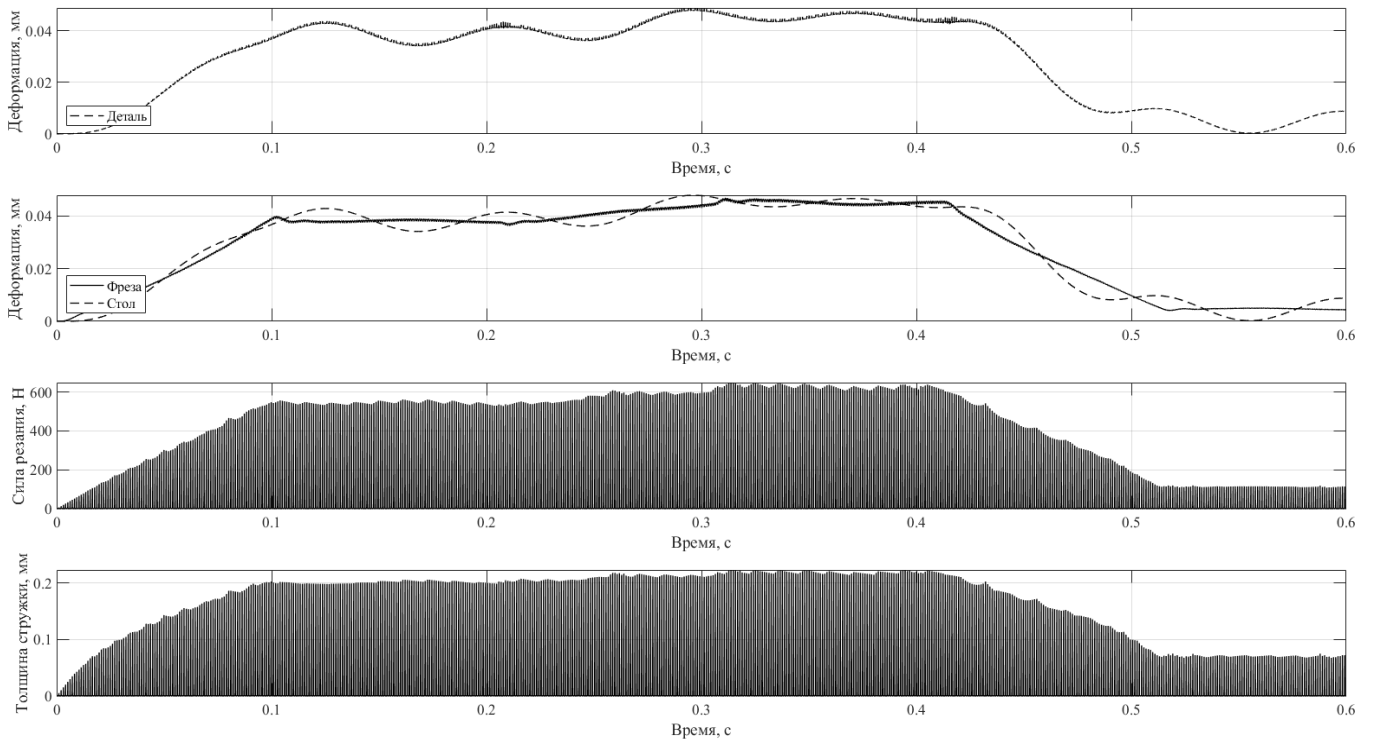
Угловая скорость вращения фрезы 2866 об/сек.



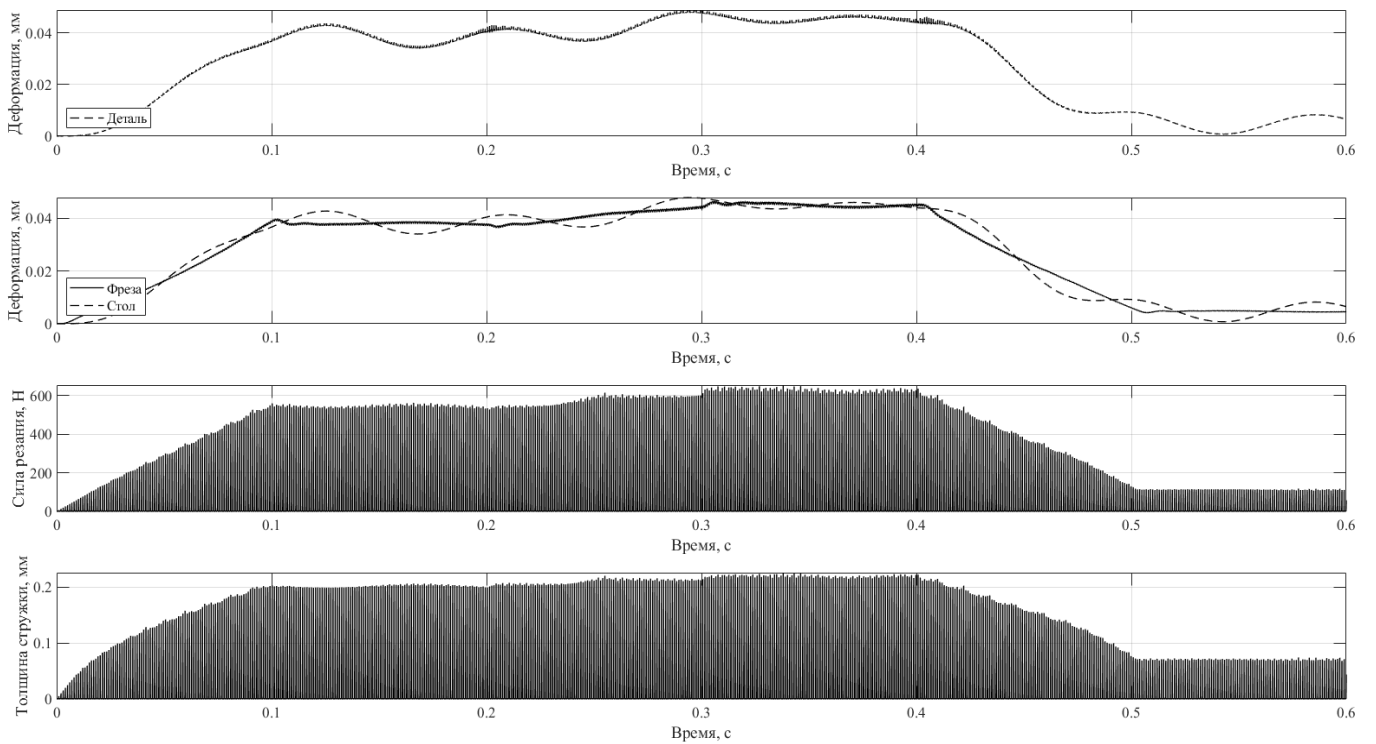
Угловая скорость вращения фрезы 2946 об/сек.



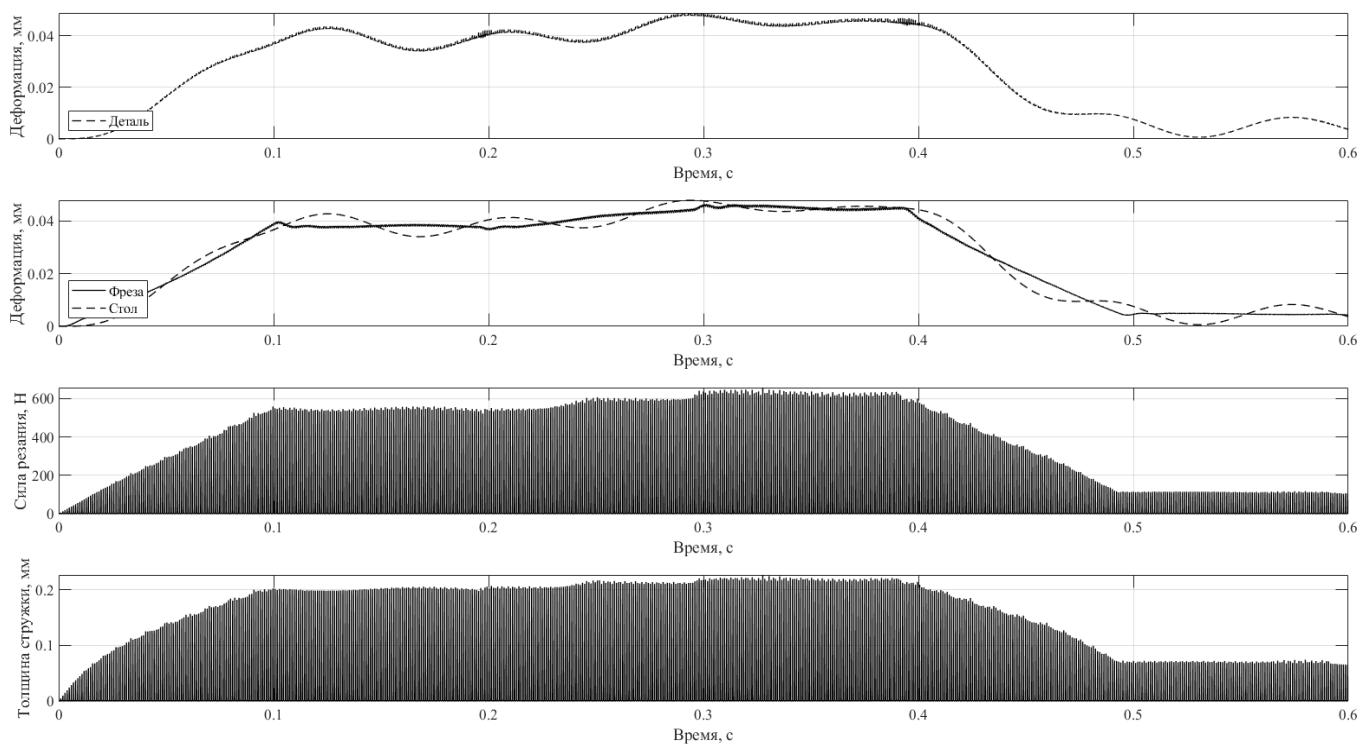
Угловая скорость вращения фрезы 3025 об/сек.



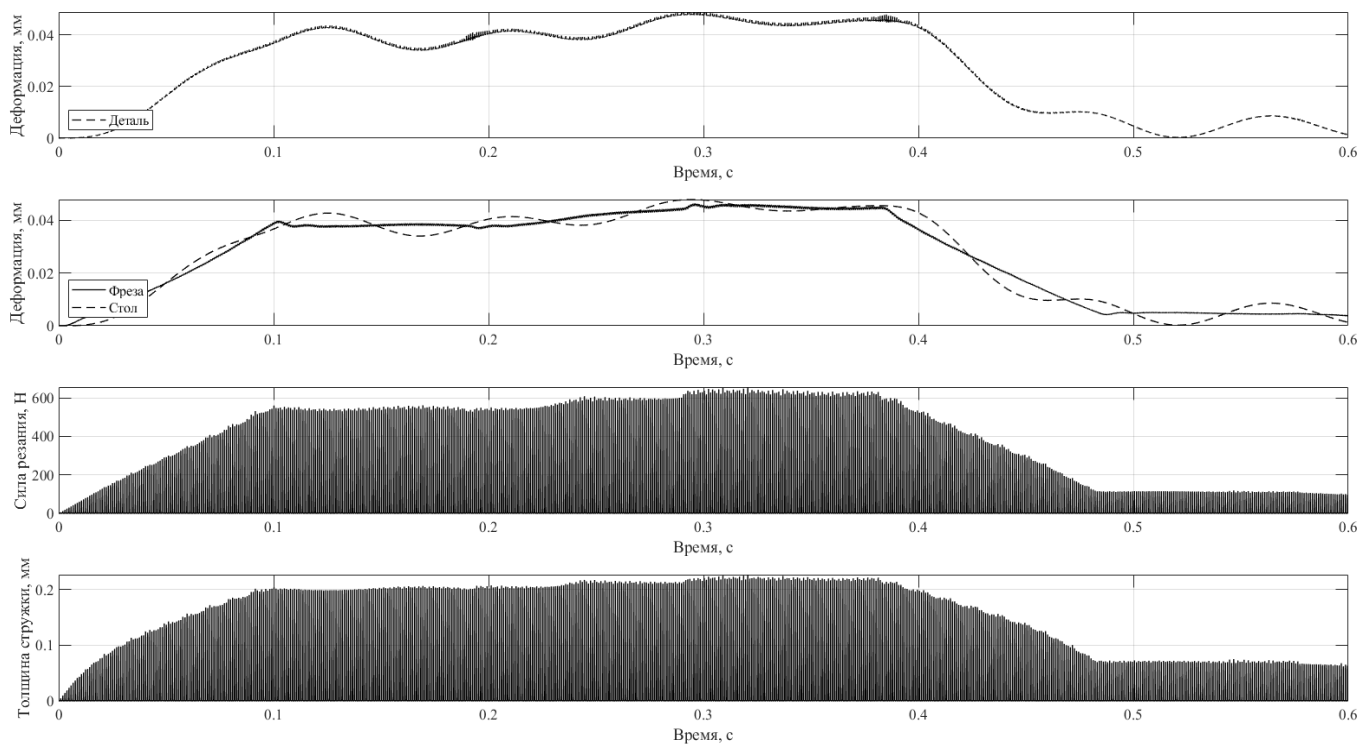
Угловая скорость вращения фрезы 3105 об/сек.



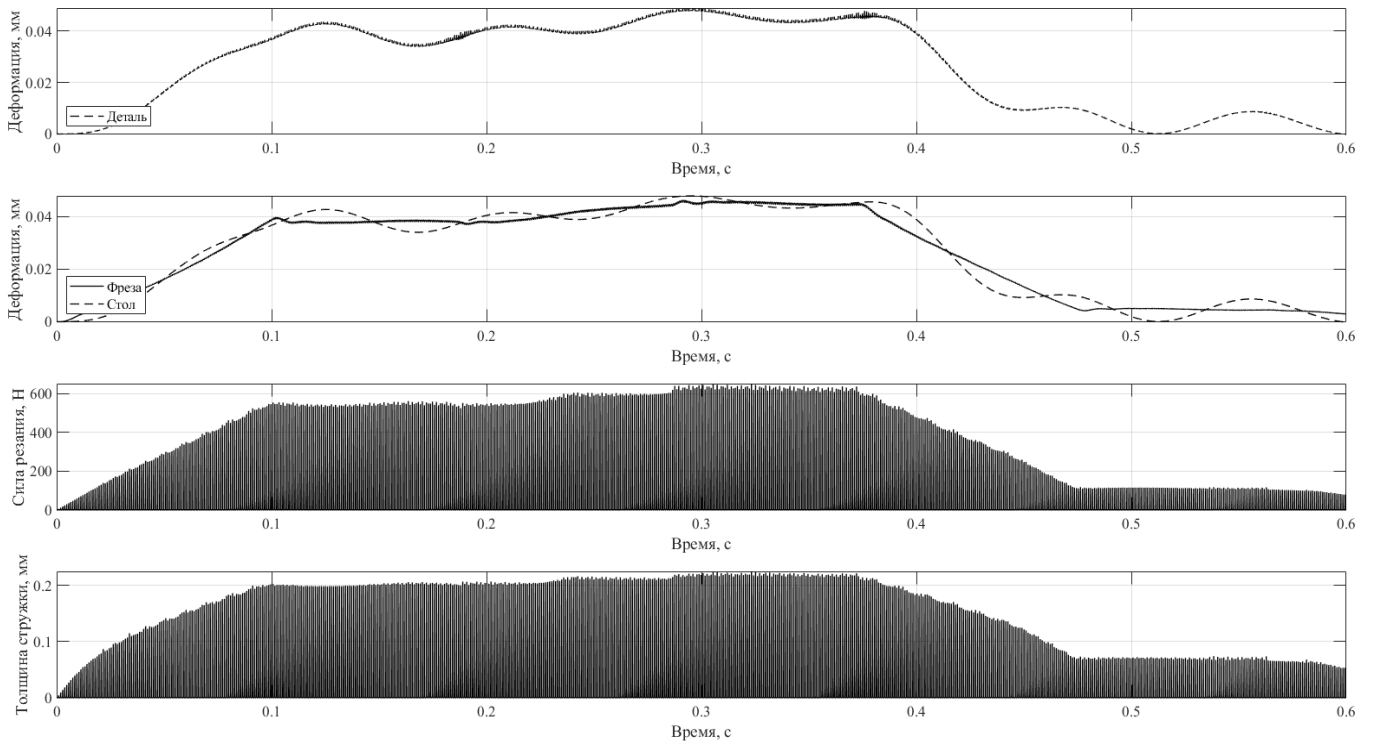
Угловая скорость вращения фрезы 3185 об/сек.



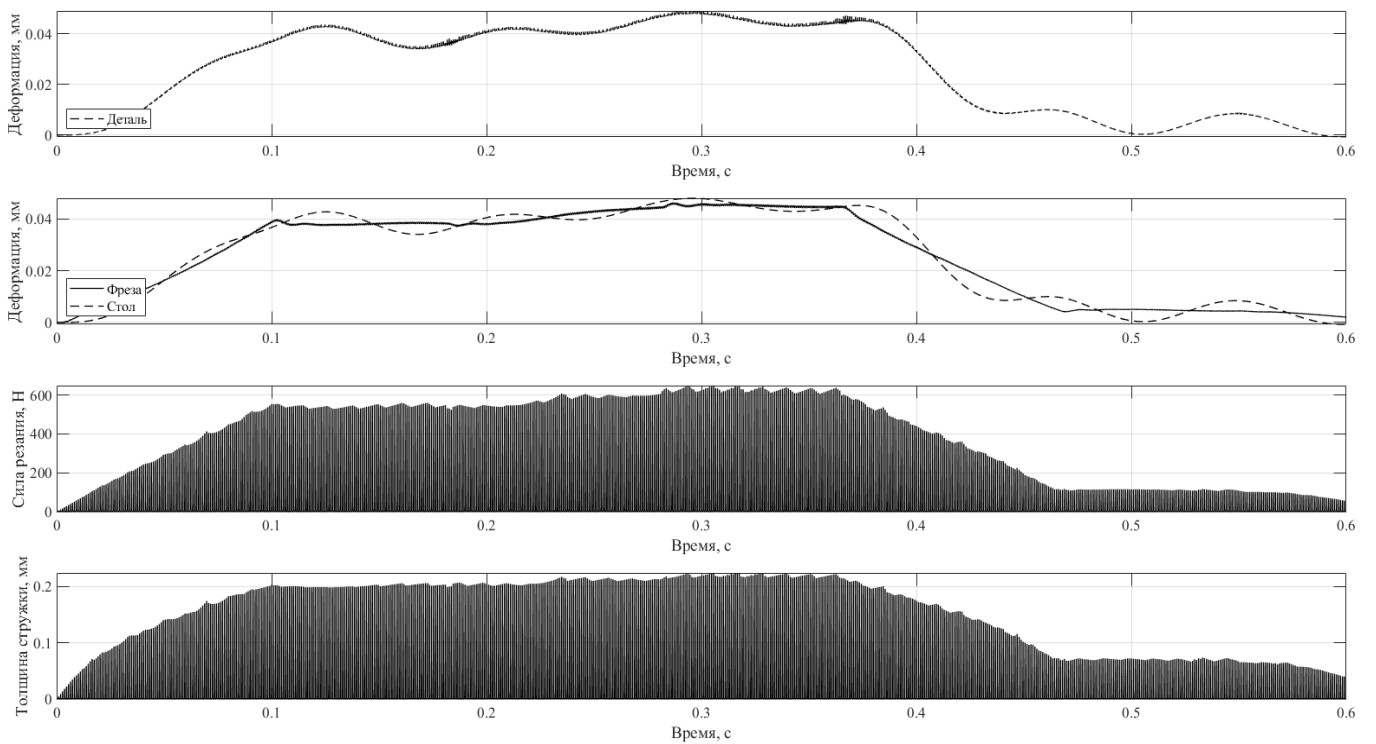
Угловая скорость вращения фрезы 3264 об/сек.



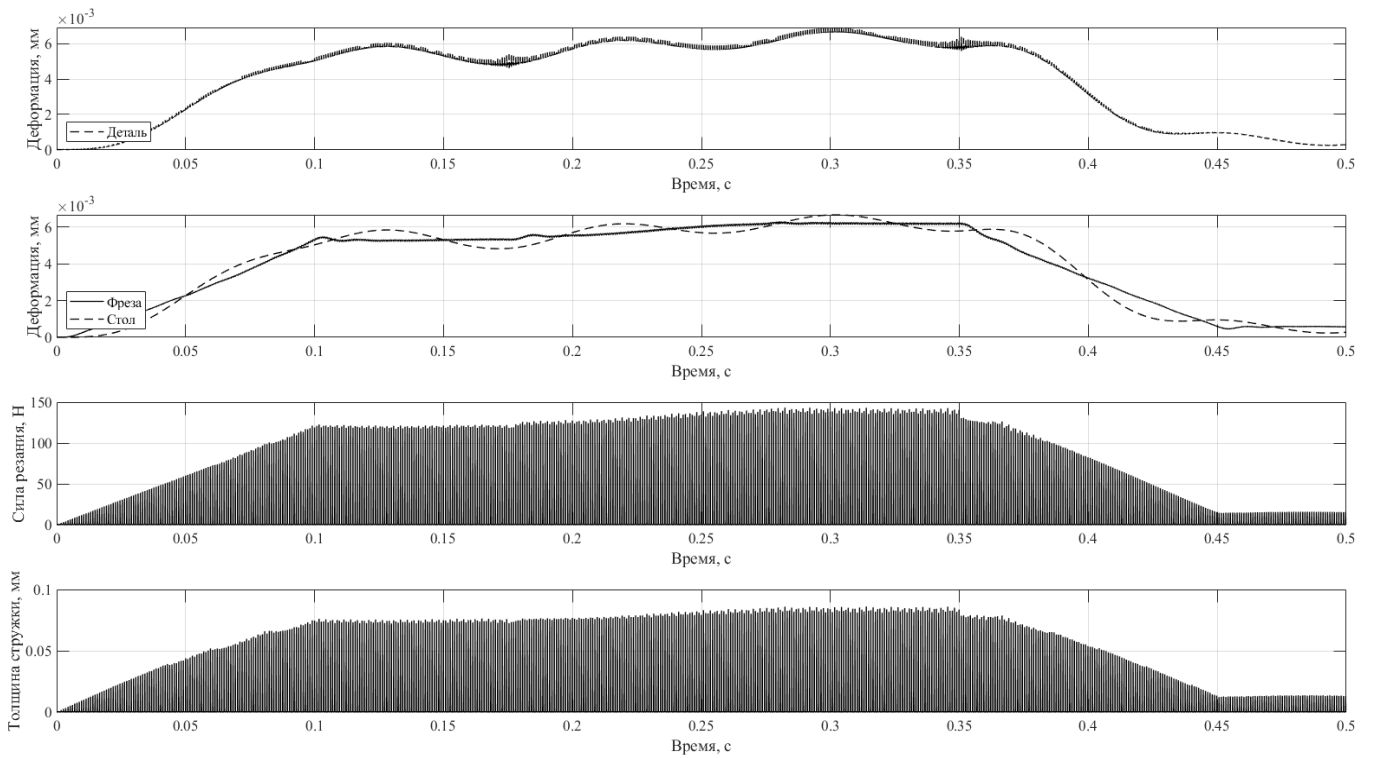
Угловая скорость вращения фрезы 3344 об/сек.



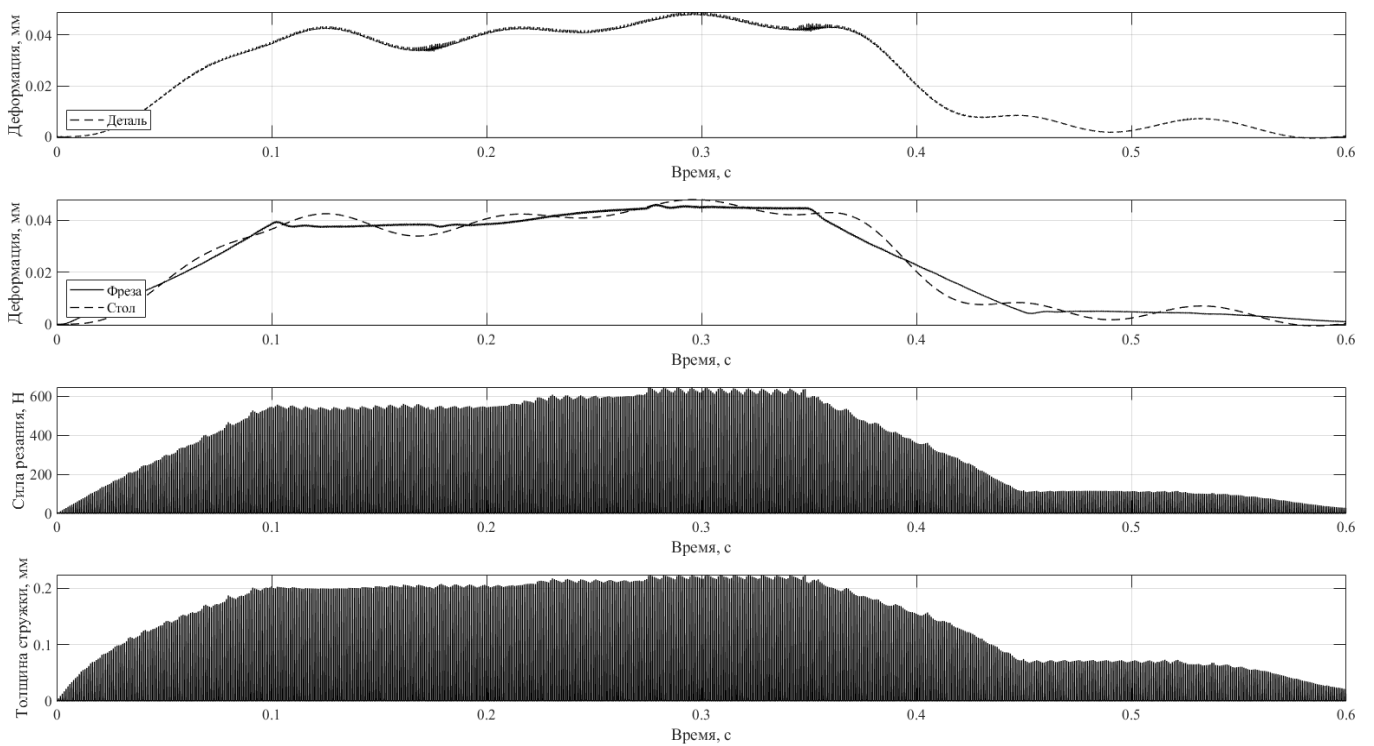
Угловая скорость вращения фрезы 3424 об/сек.



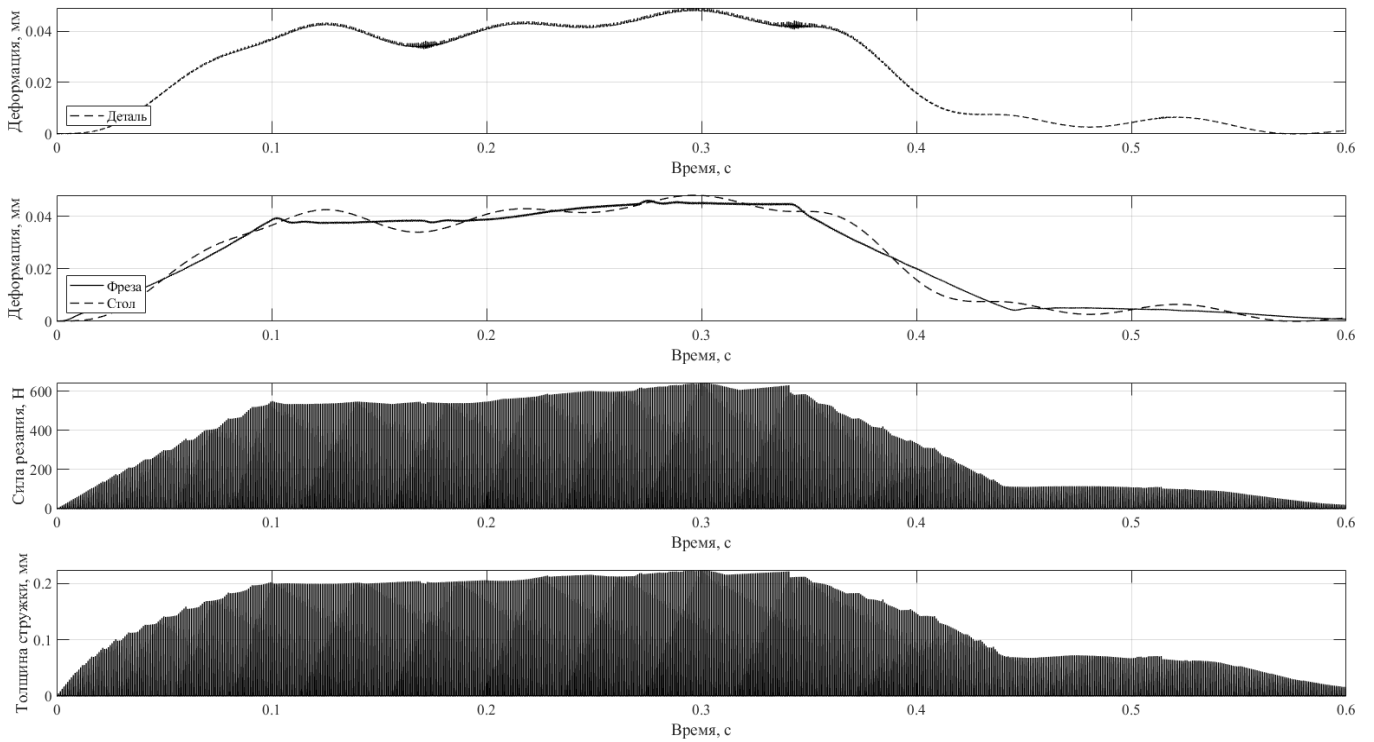
Угловая скорость вращения фрезы 3503 об/сек.



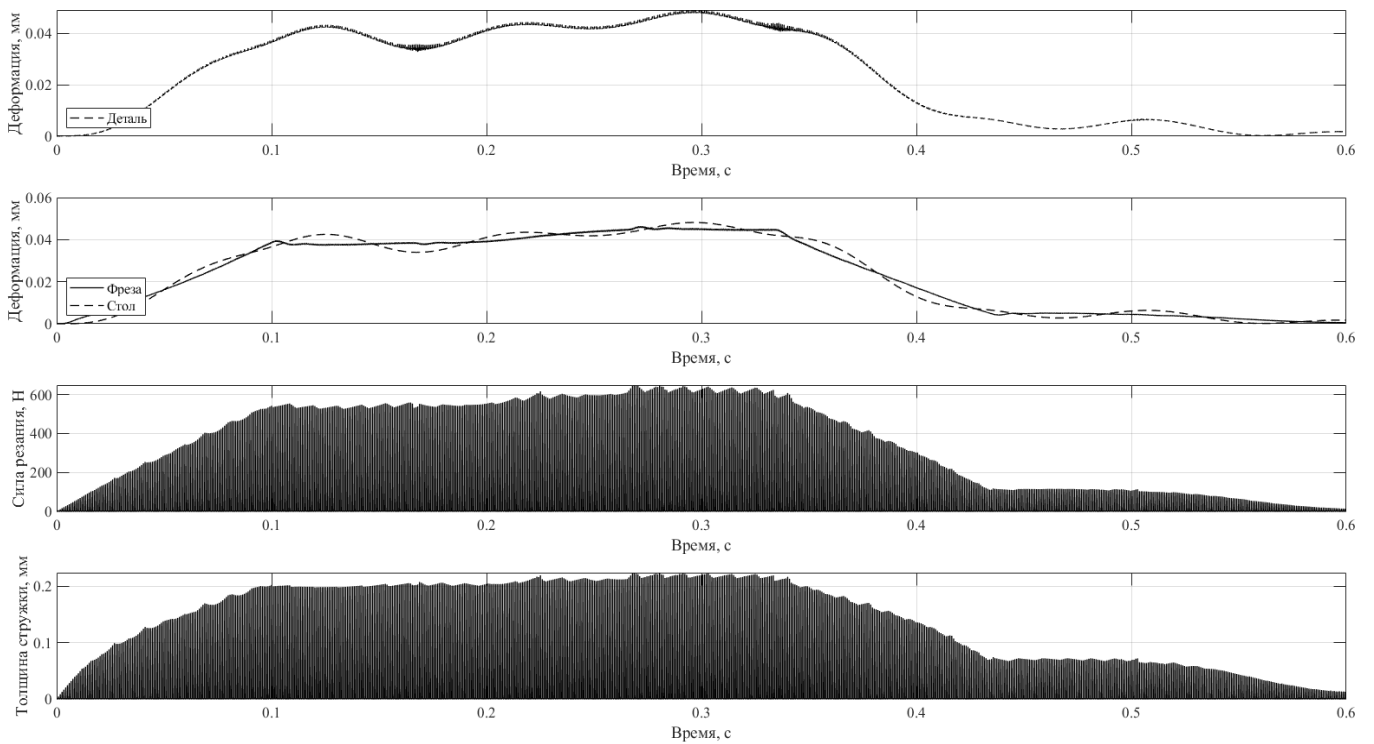
Угловая скорость вращения фрезы 3583 об/сек.



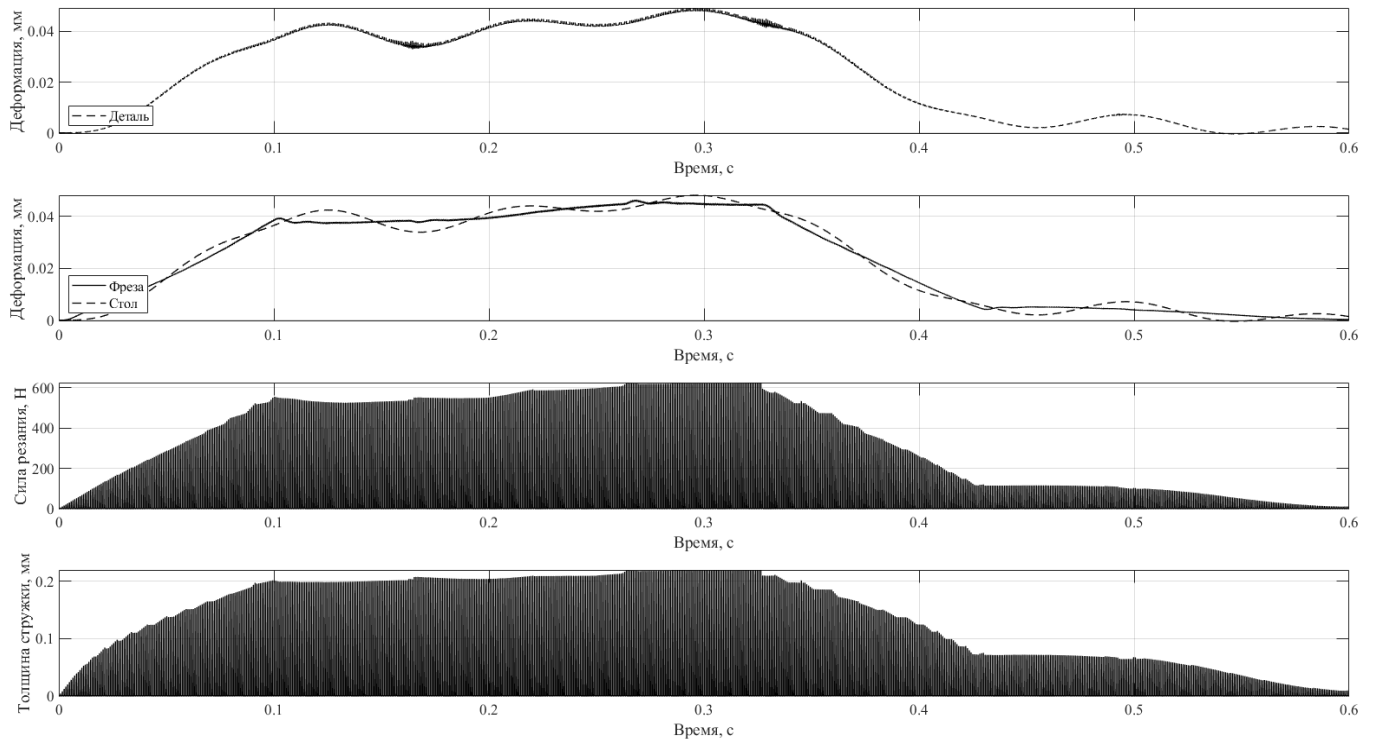
Угловая скорость вращения фрезы 3662 об/сек.



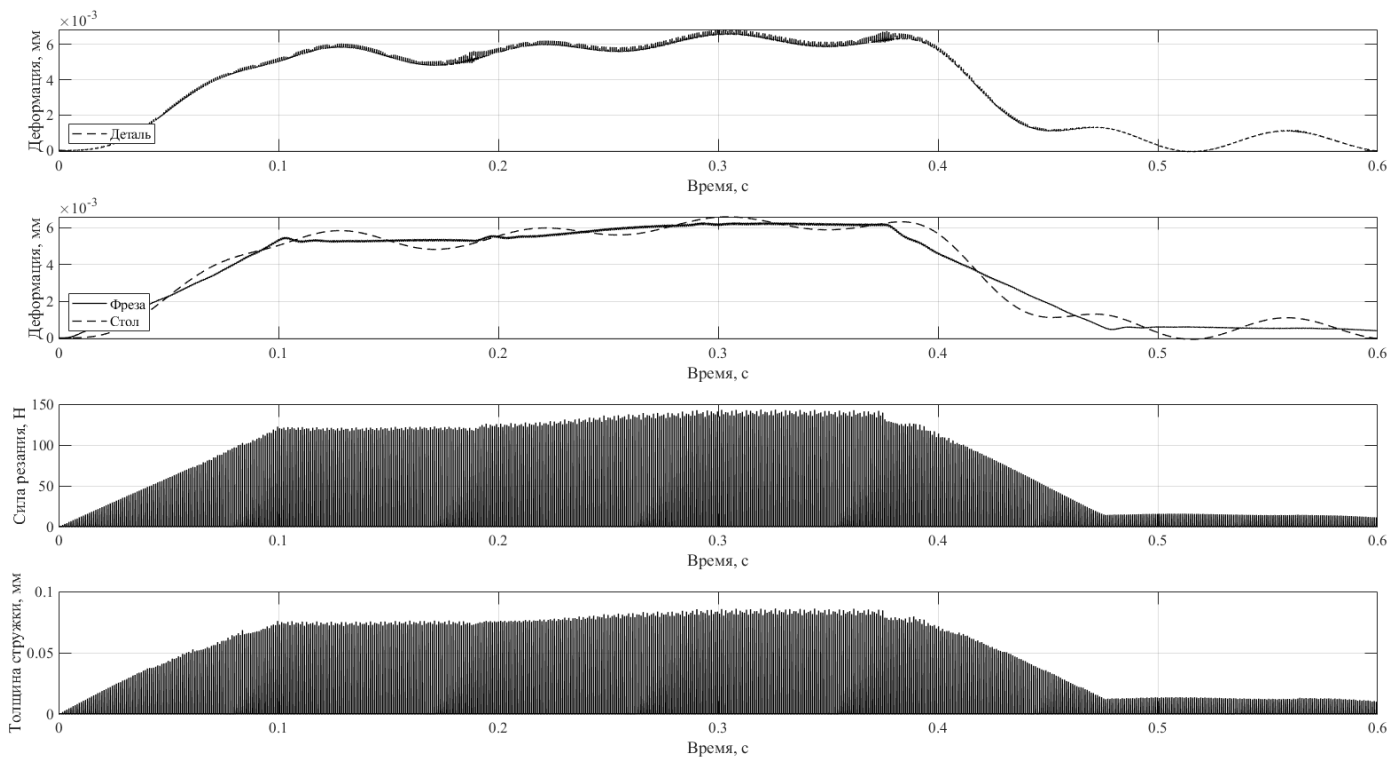
Угловая скорость вращения фрезы 3742 об/сек.



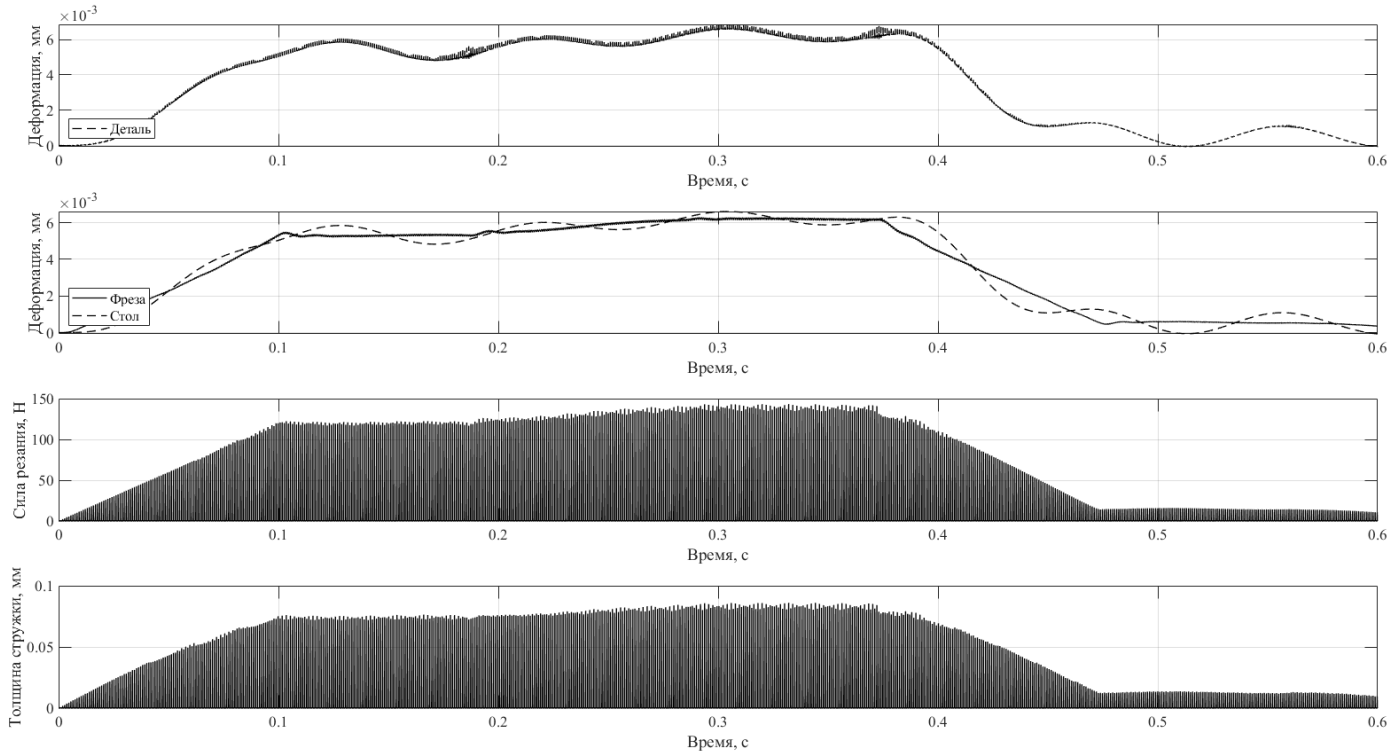
Угловая скорость вращения фрезы 3822 об/сек.



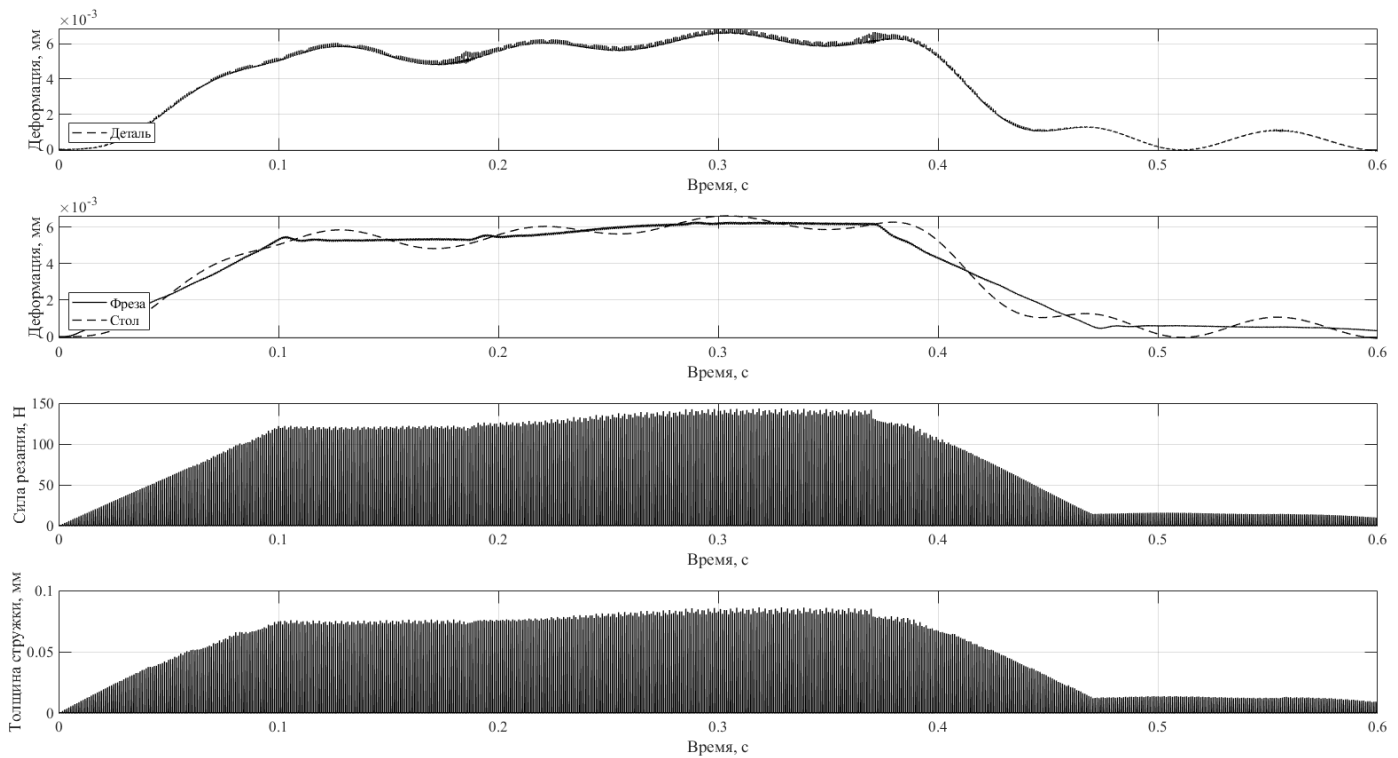
Скорость резания 140 м/мин, глубина резания = 0.0001



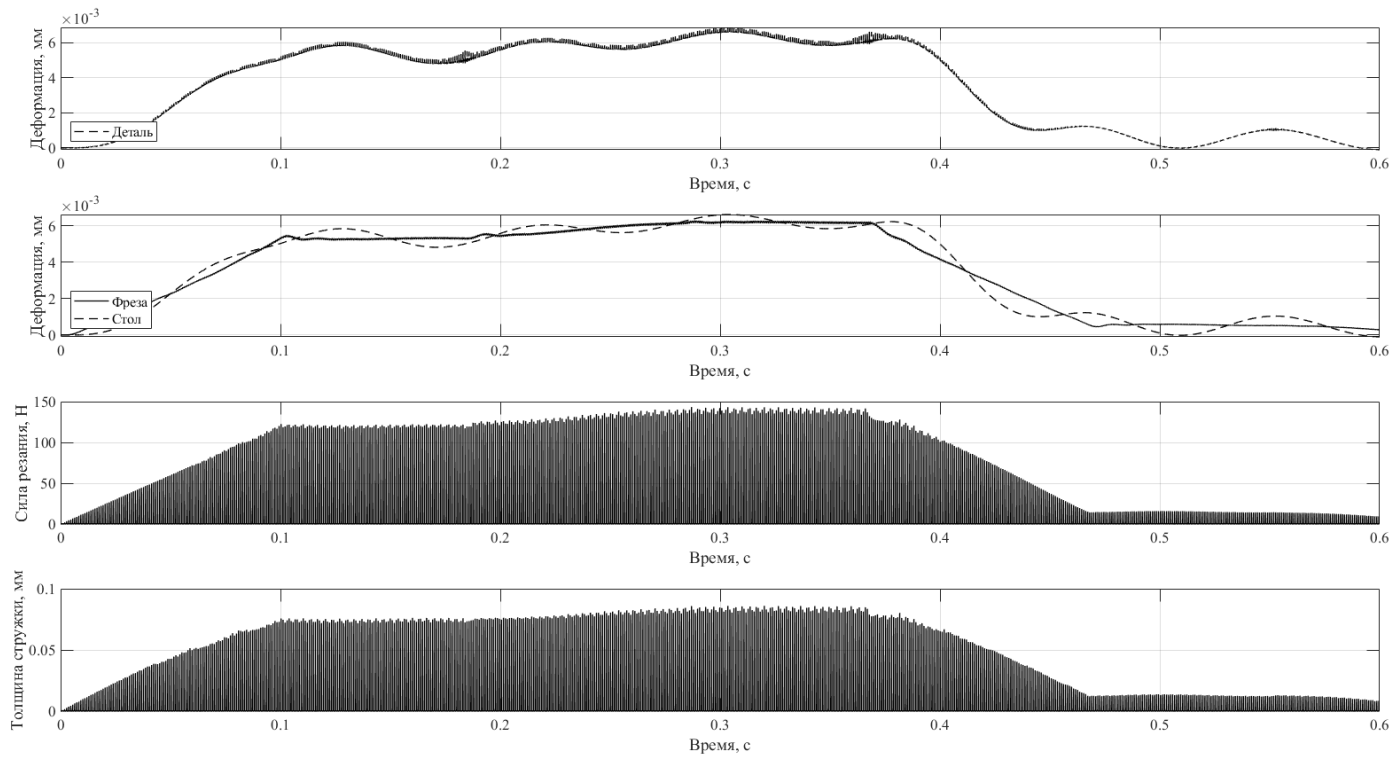
Скорость резания 141 м/мин, глубина резания = 0.0001



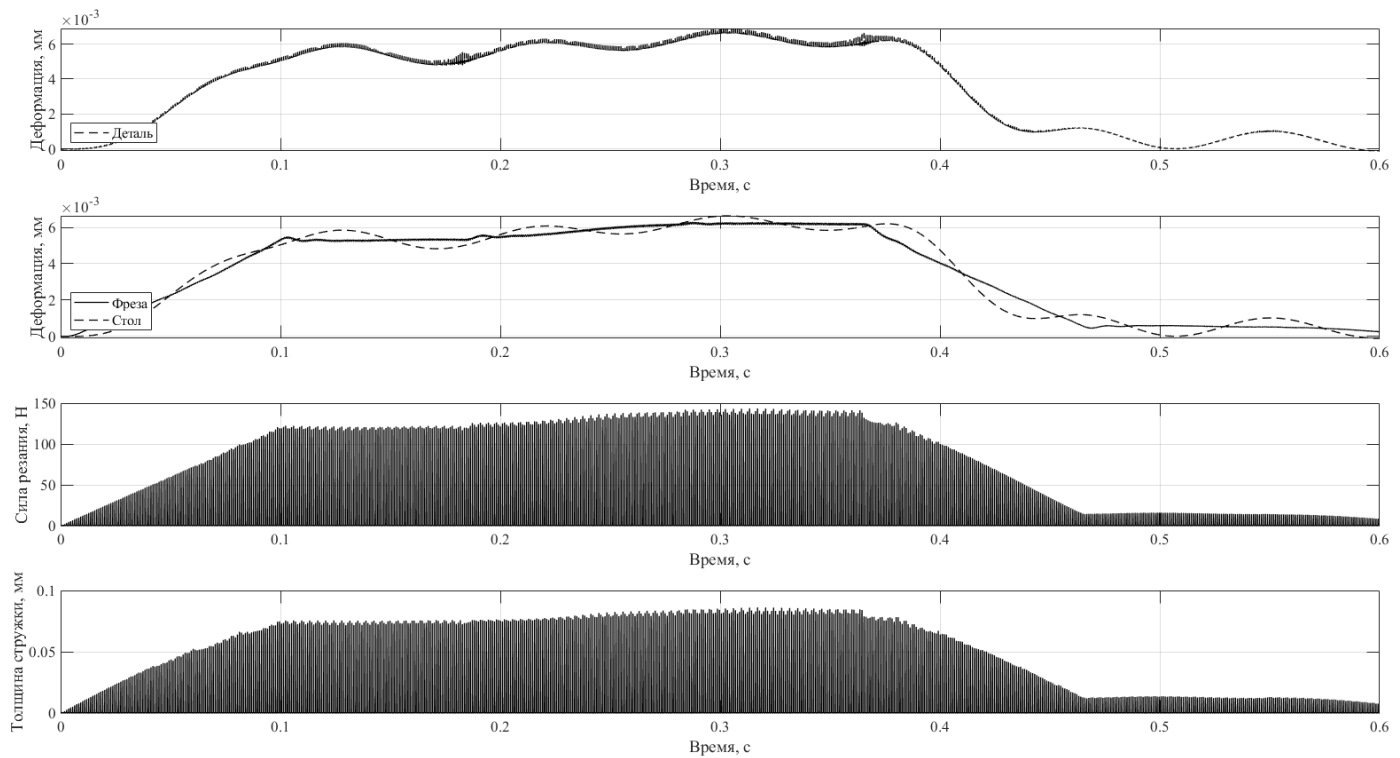
Скорость резания 142 м/мин, глубина резания = 0.0001



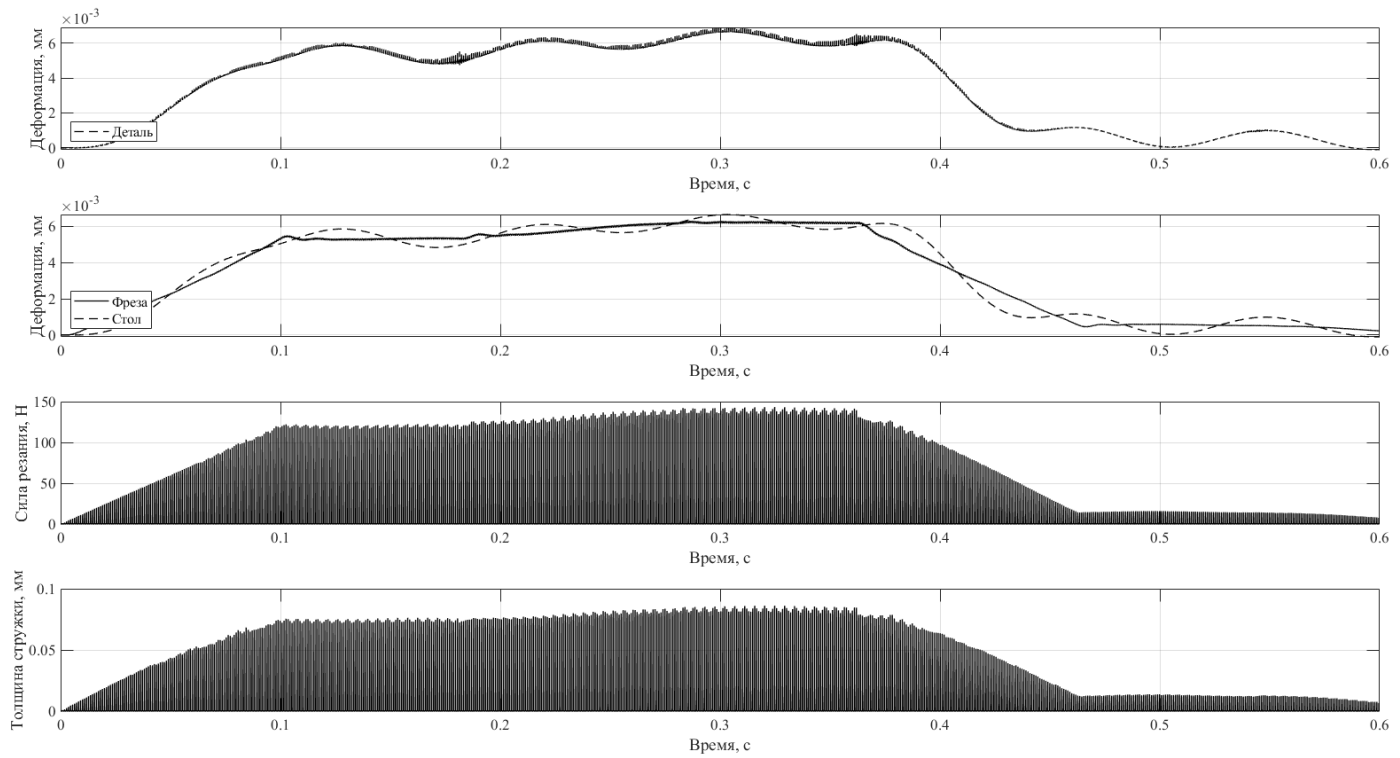
Скорость резания 143 м/мин, глубина резания = 0.0001



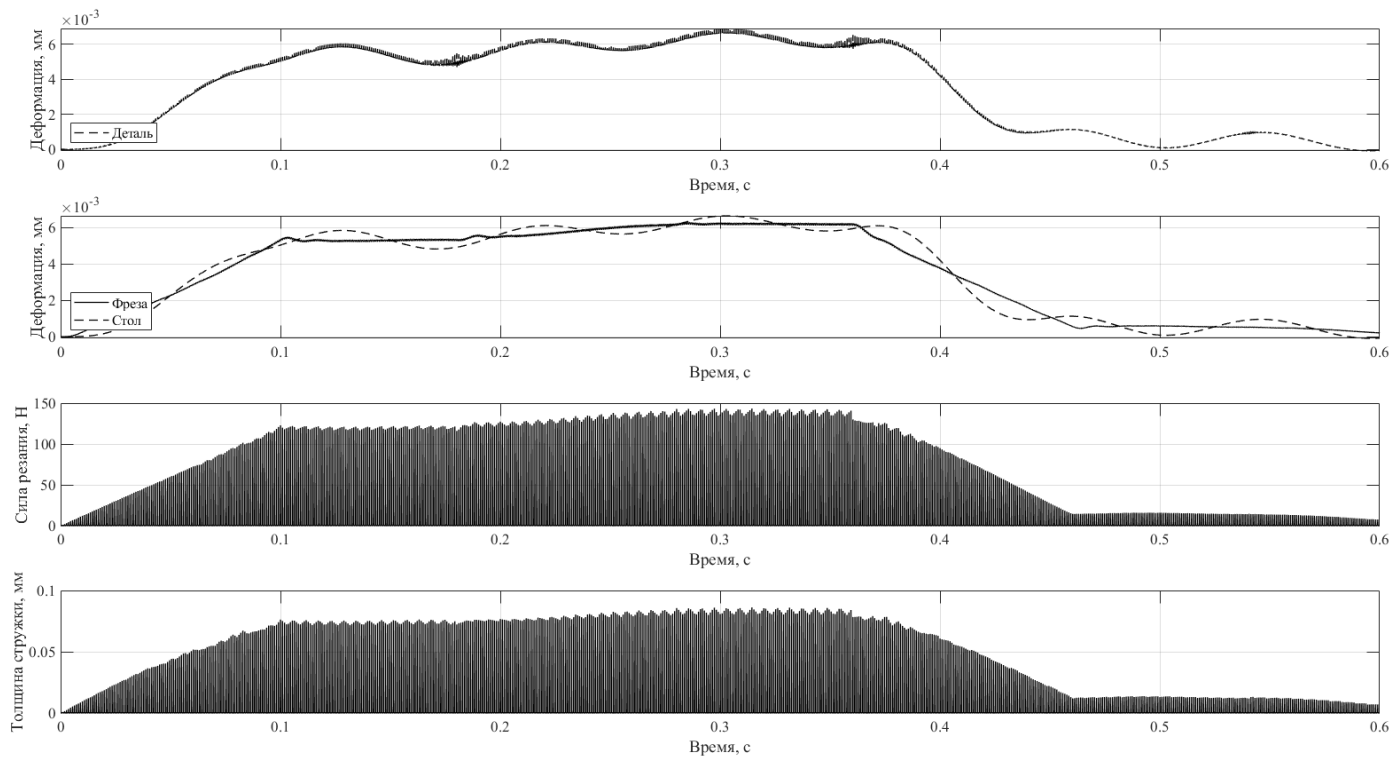
Скорость резания 144 м/мин, глубина резания = 0.0001



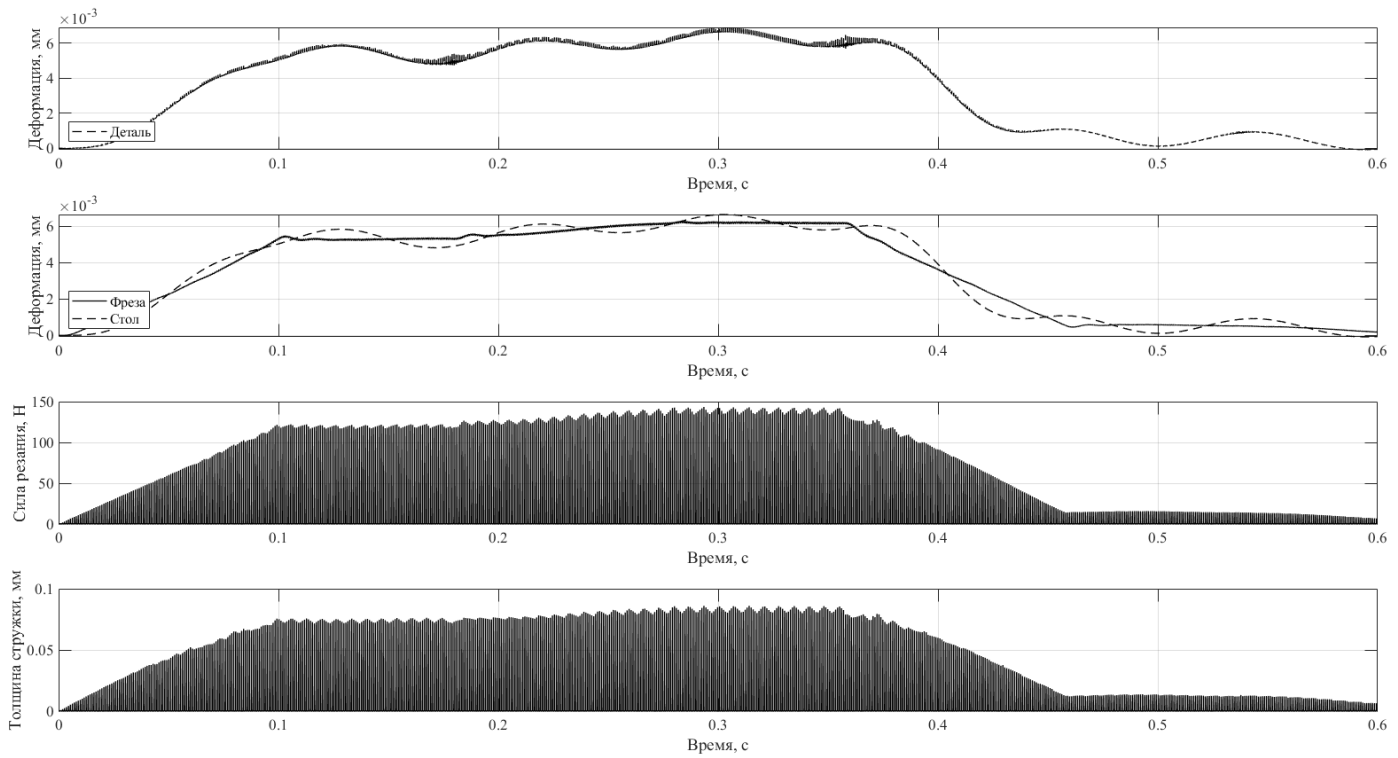
Скорость резания 145 м/мин, глубина резания = 0.0001



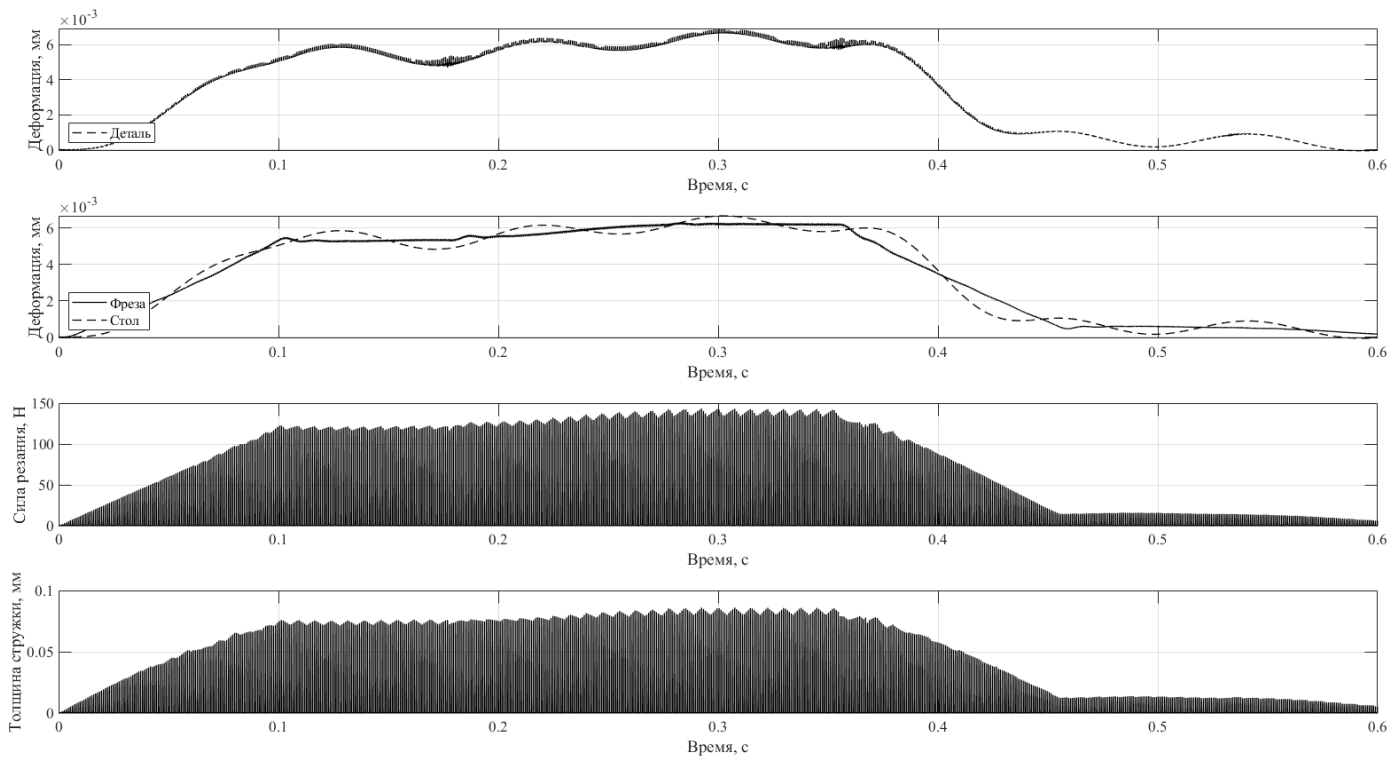
Скорость резания 146 м/мин, глубина резания = 0.0001



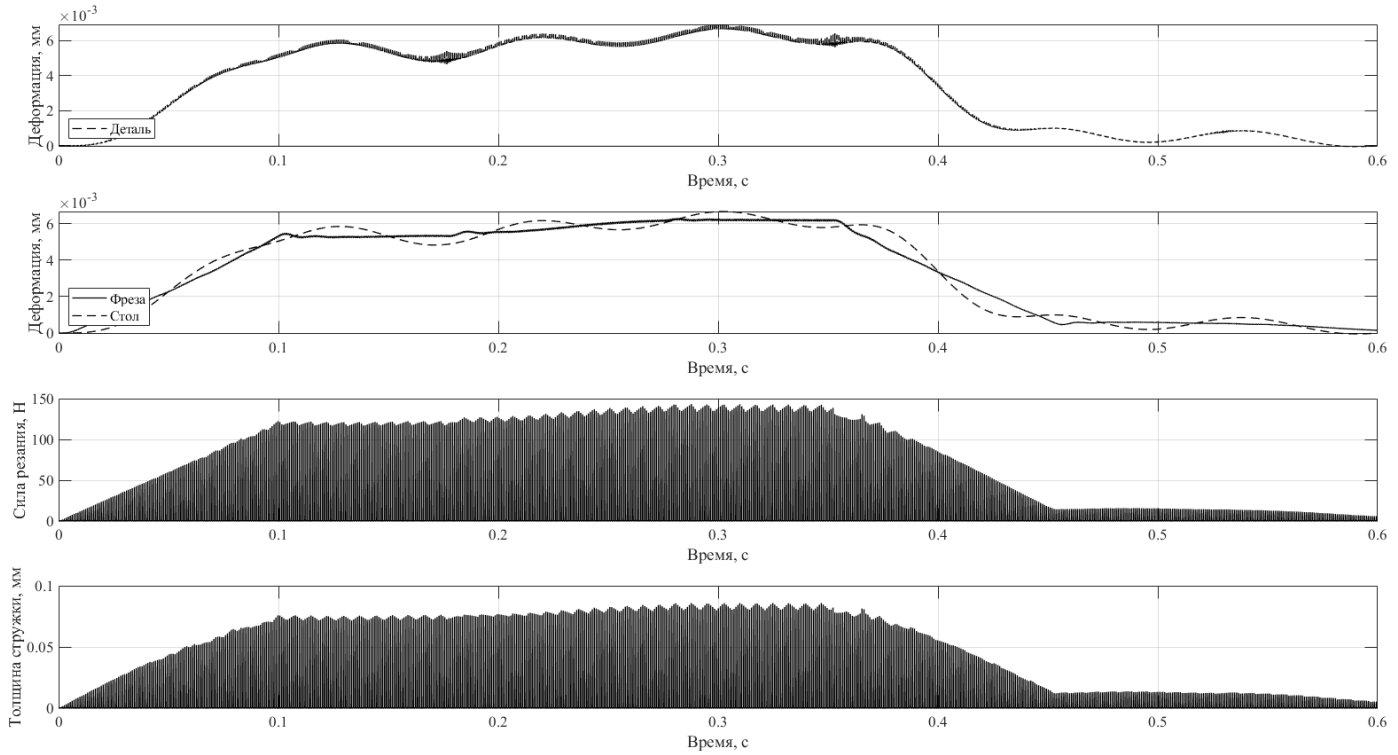
Скорость резания 147 м/мин, глубина резания = 0.0001



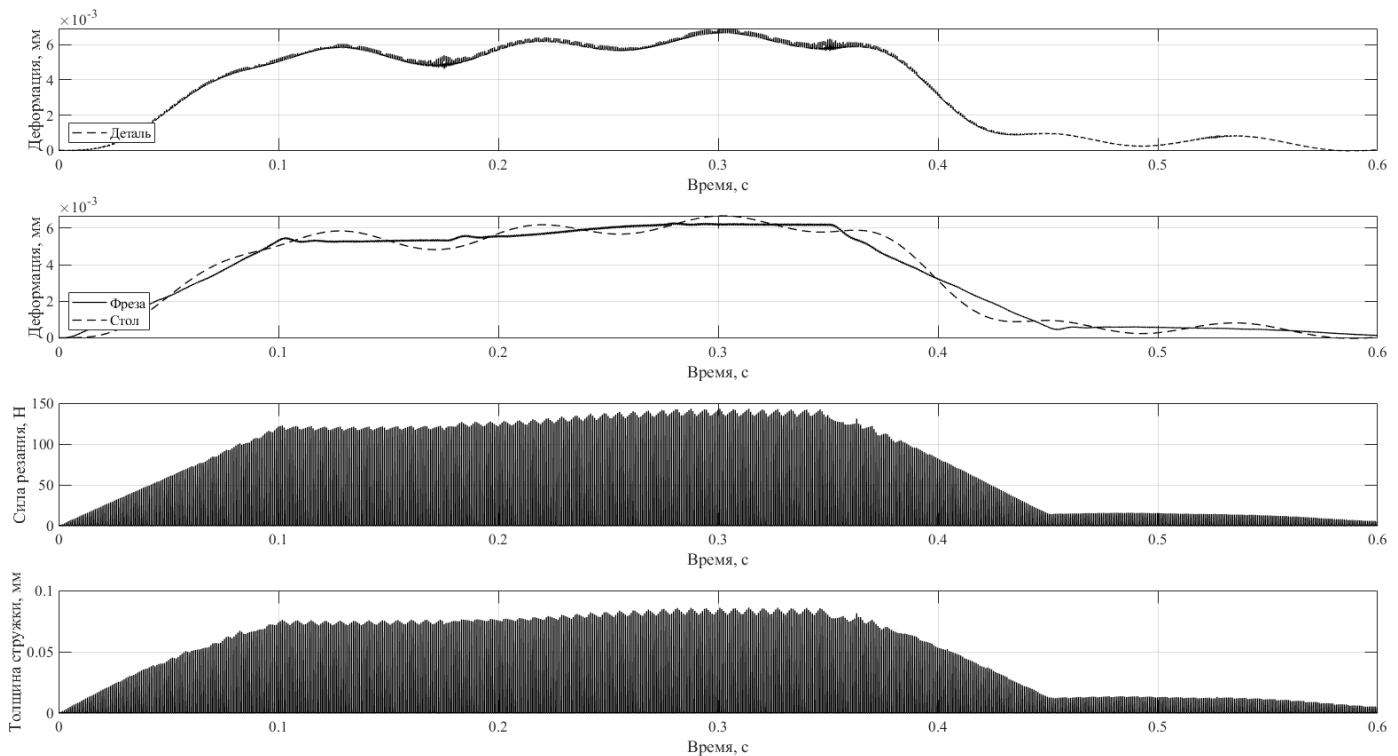
Скорость резания 148 м/мин, глубина резания = 0.0001



Скорость резания 149 м/мин, глубина резания = 0.0001



Скорость резания 150 м/мин, глубина резания = 0.0001



Приложение В

Research and calculation of vibration parameters of a vibration damper with quasi-zero stiffness

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Седов Денис Эдуардович		

Консультант школы отделения (НОЦ) _____ (ШБИП ОИЯ) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Зяблова Наталья Николаевна	к.ф.н.		

Literature Review

Theoretical part of the literature review

Milling is one of the most common metal machining methods. During its implementation, a cutting tool (milling cutter) acts on the workpiece, which removes the metal layer to be removed.

The calculation of the process is carried out on the basis of information about the tools, the surface and the permissible power of the equipment. The quality of the processing performed depends on the correctness of the selected parameters. The toolkit for milling is quite large and diverse, it is divided into various types, depending on its purpose, on the material of the part being produced and its characteristics.

Small-sized CNC milling machines, which are compact and highly functional, are widely represented on the modern market, they are especially popular with companies that produce various products in small batches. It is also convenient to use such machines to equip a home workshop, if it often has to process metal blanks, as well as other materials.

Any milling machine, including those with a CNC system, is designed to process workpieces made of various materials using a rotating cutting tool. The workpiece itself does not move during processing, it is in a stationary state, and all commands for the technological movement of the tool are set either manually or come from a special electronic system - CNC. In addition to the technological operations described above, such a machine allows you to calculate the distance between the holes that need to be made in the workpiece being processed.

Compact models of milling machines, also called desktop, stand out from the crowd with some design features. Models of such units have some differences among themselves, depending on the manufacturer's plant and design bureau. Basically, these differences come down to technical specifications and minor functional changes, but the basic principle of operation of the equipment and design features remain unchanged.

To perform basic metalworking work on a small-sized milling machine, you will need tools of three different groups: disk, cylindrical and end. To process a hole in a part, you can install a reamer, tap, drill and other necessary tools in the spindle of the milling machine. To apply complex markings or patterns on the surface of the product, you will need to install an engraving head.

As a rule, on small-sized machines, small parts made of metal or other materials are processed. Therefore, all necessary movements of the working bodies are carried out with the help of ball -screw gears, which ensure smooth running and high accuracy.

A numerical control system for a small-sized milling machine is placed in a small outer box. This design solution helps to reliably protect fragile equipment from possible contamination and vibration, and also facilitates maintenance. The remaining units of the unit are placed on the machine bed, which can be cast or prefabricated.

The overall dimensions of these machines deserve special attention. Mini milling cutters - with a working field of 400×400 mm. Such models are used in the handmade sphere and, in addition to small dimensions, also have minimal power and limited functionality;

Table routers - the size of the processing zone is 600×900 mm. Fit on desktop. They are able to interact with any materials and perform all types of work, but due to their low power they work rather slowly, therefore they are only suitable for the manufacture of piece or small-scale products. They are purchased mainly for personal use or small-scale production.

Medium format machines - table dimensions 1300×1300 or 1300×2500 mm. Professional equipment with a powerful spindle, suitable for any job. Used in all small and medium enterprises.

Large-sized equipment - powerful machines with a large working field (up to 2000×3000 mm) and high productivity for work with large volumes of products. Used in large metal and woodworking enterprises.

Milling machining centers are fully automated multifunctional complexes, the height of which exceeds human height. Are intended for work with massive preparations.

Small-sized machines have a number of advantages in relation to full-size machines:

- The compact size will allow you to make the most efficient use of working space;
- Affordable cost will be a pleasant surprise compared to a conventional size machine;
- The versatility of many models makes it possible to carry out a wide range of work with metal, from milling and boring to final grinding and processing;
- The CNC system will reduce the setup time of the equipment and will allow processing products of complex configuration with high accuracy;

Many manufacturers equip CNC milling machines with a variety of modifications up to special equipment for engraving work. Such a machine will allow not only to produce a standard list of metal processing works, but also expand this list to apply complex markings, patterns and other images to the surface of the workpiece.

As significant advantages of such devices, it is worth noting not only their compact size, which allows them to be used with high efficiency even in conditions of a limited working area, but also the affordable cost, especially when compared with the price of conventional milling machines. The functionality that distinguishes such equipment makes it possible to effectively use it to perform various types of metal processing: milling, drilling, boring, engraving, etc. The CNC system, which is responsible for performing all technological operations on such a machine, allows you to process parts of complex configuration and make it is with high precision and performance.

To operate a small CNC machine, a stable connection to the electrical network is required. Most models require 220 V for full operation. Due to this low power requirement, this unit is suitable not only for a manufacturing plant, but also for a small home workshop, forge or garage.

Processing of metal blanks is carried out by moving a rotating cutting tool along the X, Y and Z axes. In some models of desktop machines, movement along the X and Z axes is carried out by moving the working table of the unit. The main working body of any milling machine is the spindle, the number of revolutions of which is regulated using a stepless circuit.

For the operation of a CNC machine, both small-sized and multifunctional, a stable connection to the electrical network will be required. For most models of small-sized CNC milling machines, a voltage of 220V with a current frequency of 50 Hz is sufficient for full operation, while for most multifunctional CNC milling machines, 380V with a current frequency of 50 Hz is required.

In conditions of limited working space, a small-sized machine will be the best solution to ensure an uninterrupted production process, since its dimensions are on average 800 x 800 x 900, the average dimensions of a multifunctional machine are 3000 x 2100 x 1950.

Compared to a large machine, a small machine is more mobile; in case of relocation of the enterprise, it is much easier to transport it. Also, for the installation of a small-sized machine, no site preparation is required. While the installation of conventional machines requires an electrical connection, a concrete base, most often specially prepared and enough space around the machine to serve it.

In the event of a machine breakdown, a small-sized machine is easier to maintain and replace any consumable parts by 1 person, due to the small dimensions and mass of components. In the case of a large machine, maintenance is usually carried out by at least 2 people, or a whole repair team.

Significant differences are also present in safety precautions during the work of operators. The rotating elements of small-sized machine tools are smaller in overall dimensions and, as a result, can cause less damage to the human body. In addition, all moving parts of the machine are in the operator's field of vision, which is not always the case on large machines.

Comparative analysis of the presented models

Overview of the CNC machine " Router 3220 ":



Figure 1- Router 3220

Professional CNC milling and engraving machine in desktop version.

The small-sized Router 3220 model allows for high-precision processing of various materials in three and four coordinates.

The affordable price makes the Router 3220 an excellent solution for small businesses.

Working field	
Working field size, mm	320 x 210 x 220
Desktop dimensions, mm	320x210x38
Table load, kg	up to 120
Material	D16T
Axial force, kgf	146.0 - 266.0
Milling materials	up to 47HRC

Spindle	
power, kWt	2.2
Spindle speed, rpm	3000 - 24000

Clearance size along the Z axis, mm	125
Spindle cooling type	air
Collet type	ER20
Tool change	manual
Tool diameter, mm	up to 13.0
Tool weight, kg	up to 0.8

Drive unit	
X-axis transmission type	Ball screw 16 x 5
Y-axis transmission type	Ball screw 16 x 5
Z-axis transmission type	Ball screw 16 x 5
Drive type X, Y, Z	Stepper precision motors
Torque on the XYZ axis, Nm	2.4
Positioning accuracy, μm / mm	47 / 300
Repeatability accuracy, μm / mm	52 / 300
Travel speed, mm / s	60
Stepper motor driver	leadshine
X-axis transmission type	Ball screw 16 x 5

Control	
Control language	G-code, M-code (ISO)
Control system	LinuxCNC
Food	
Voltage, V	220
Current frequency, Hz	fifty

Calculations and analytics

Determination of machine parameters

For the study carried out in bath work, it is necessary to determine the average values of small-sized CNC milling machines, such as the mass of the machine, the mass of the spindles and their stiffness.

Within the framework of this work, a portal-type milling machine is considered (Figure 9).

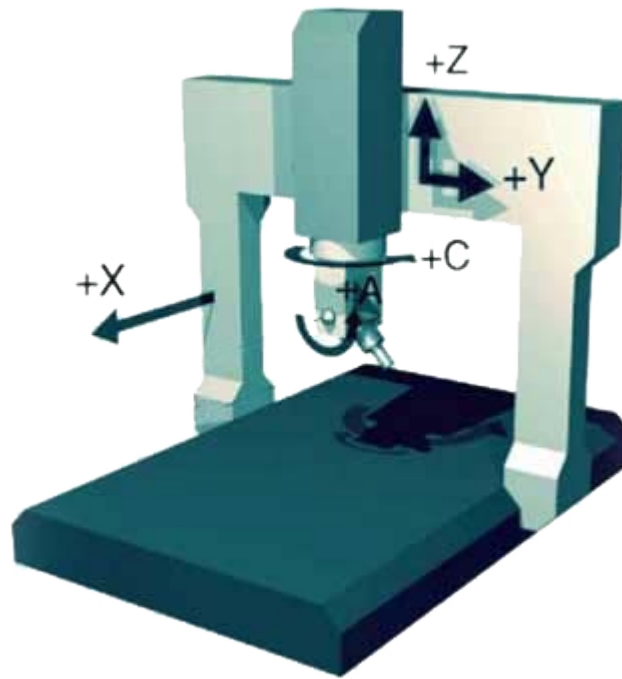


Figure 9 - Portal type milling machine

Machines of this type are in most cases used to create small-sized machines.

Structurally, the portal consists of two columns on which the edges of a horizontal beam are attached, along the guides of this beam (also called "transverse") a spindle head with a vertical spindle moves, which, depending on the specific design of the milling machine, can have, in addition to the vertical stroke, the ability to rotate and /or lean in one or two vertical planes. To speed up the processing process, the number of spindles may differ from 1, for example, be equal to 3, when both side columns of the portal milling machine also have one spindle each . In the case of small machines, 1 spindle is used.

Regardless of whether the portal of the milling machine or its desktop is moving, the large weight and volume of parts processing require the operation of the main spindle in a high load mode, and movements along all axes of the portal milling machine are associated with great efforts to overcome friction and deformation forces. In this regard, ensuring high accuracy, as well as speeds of working and idle feeds during the operation of portal milling machines, presents a number of engineering problems, the solution of which are all kinds of innovations to ensure increased structural rigidity, minimize friction, wear parts, forced cooling of individual machine modules, etc. Therefore, with relative external simplicity, portal-type milling machines sometimes represent quite complex engineering complexes.

Table 1 - Characteristics of a small-sized CNC milling machine

Machine parameter	Value range
Maximum dimensions of the processed workpiece, mm	350 x 250 x 250
Spindle speed, rpm	2500 - 28000
Machine weight, kg	35 - 300
Spindle weight, kg	1 - 10
Rigidity of the machine, KN\μm	9.8
Rigidity of spindle connection, KN\μm	6-8
Tool diameter, mm	to 10

Determining the parameters of the workpiece to be processed

As part of this study, a workpiece was selected from AISI 1045 steel, which is an analogue of steel 45. During the milling process, the workpiece is clamped in a vise. Forces are created that simulate the process of cutting a cutting tool - a milling cutter - into a workpiece. The simulation of the obtained loads was carried out in the SolidWorks environment simulation . The images below show the selected workpiece, modeled in SolidWorks .

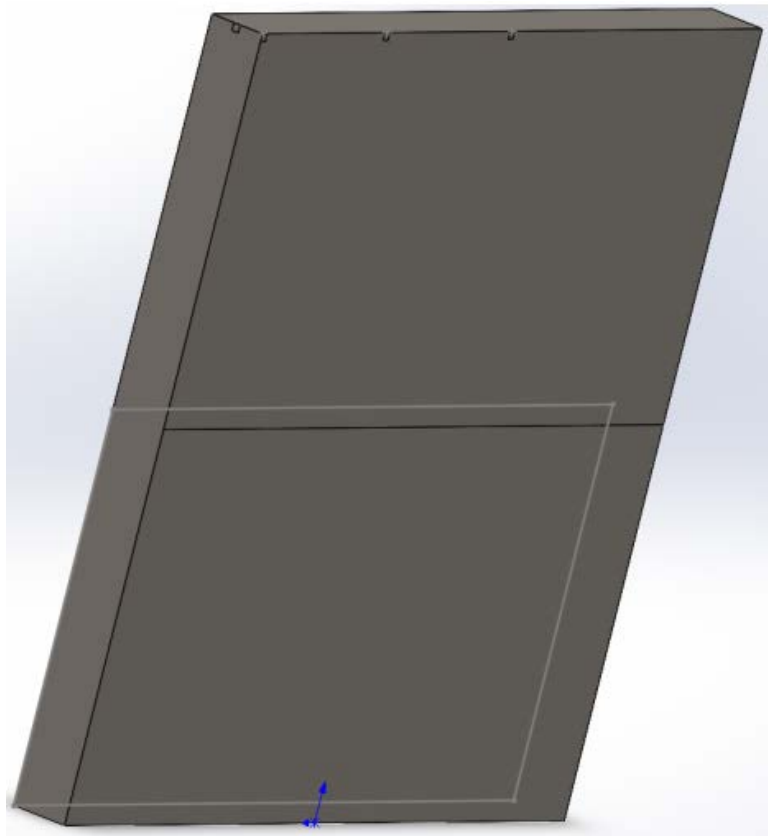


Figure 10 - 3D model of the selected workpiece

The characteristics of the selected material are presented in Table 2.

Table 2 - Characteristics of steel AISI 1045

Thermal conductivity λ ,	W / (m · hail)	48 at 100 hail
Density ρ ,	kg / cm ³	7826
Limit strength σ in ,	MPa	610
Limit fluidity σt ,	MPa	360
Relative elongation δ ,	%	fifteen
transverse constriction ψ ,	%	15-20

Module elasticity	GPa	200
percussion viscosity	kJ / m ²	110-123
Module shear G	Gpa	78
Specific heat capacity c,	J / (kg K)	473
Temperature coefficient of linear expansion $\alpha * 10^6$	K ⁻¹	11.9

After determining the main parameters of the workpiece to be processed, it is necessary to arrange the place of fastening of the workpiece. The result is shown in Figure 11.

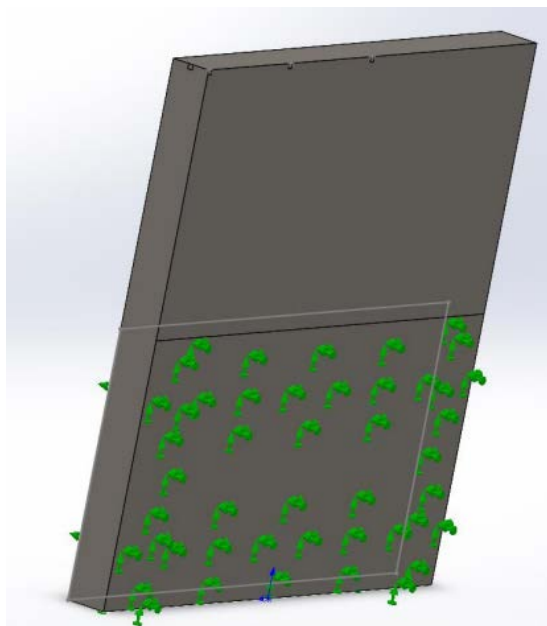
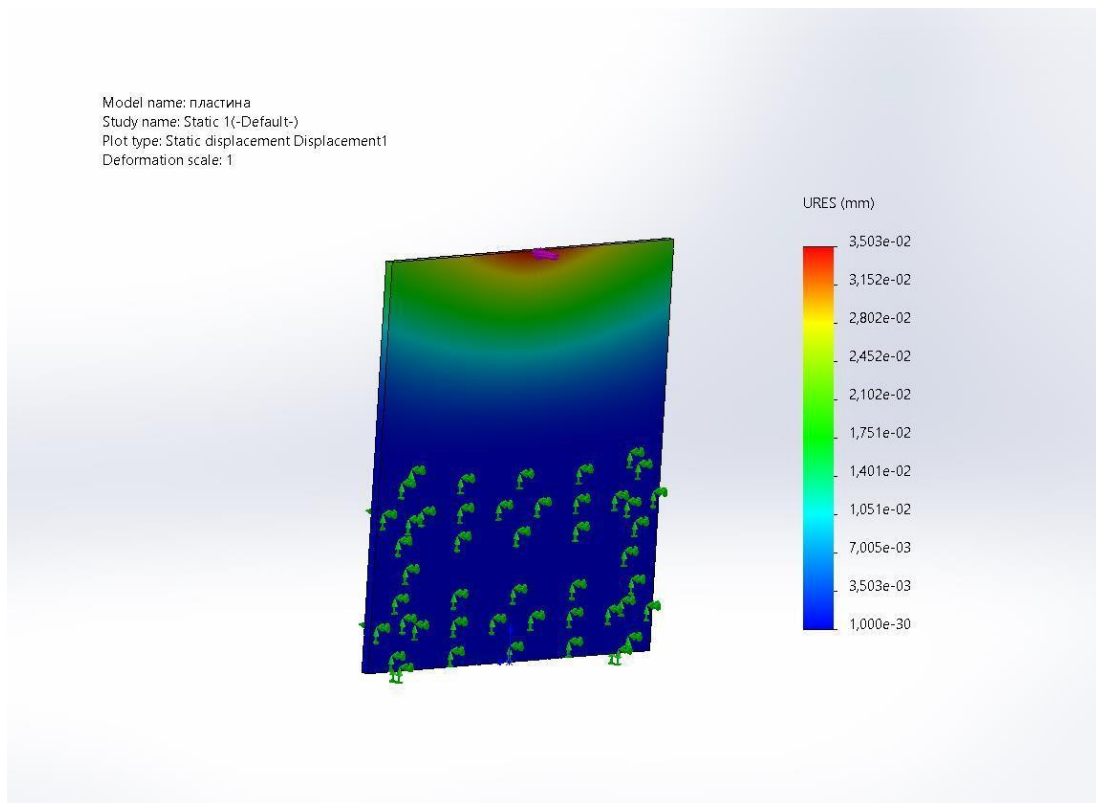


Figure 11 - Fastening the workpiece

Within the framework of this work, the dependence of the stiffness of the machine itself is investigated. We will conduct research for workpieces of 3 thicknesses, by applying force in the SolidWorks system simulation . The results are shown in the figures below.



Picture 12 - Deformation with a workpiece thickness of 2 mm, at the midpoint

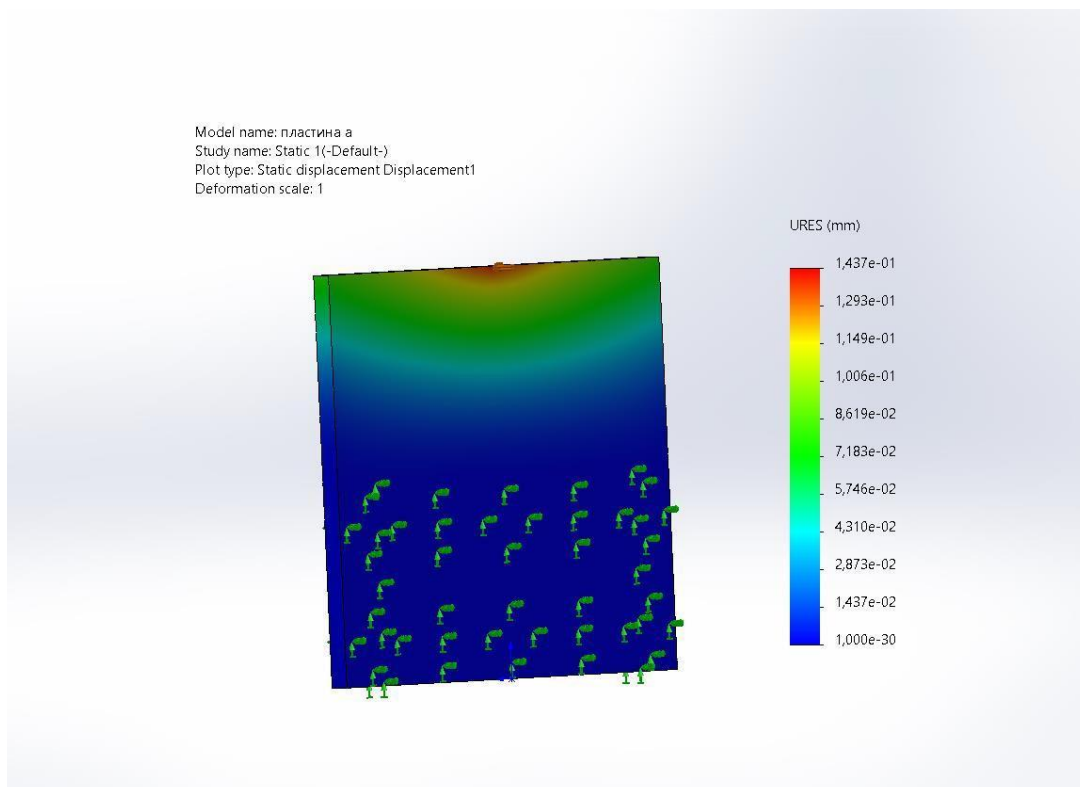


Figure 13 - Deformation with a workpiece thickness of 6 mm, at the midpoint

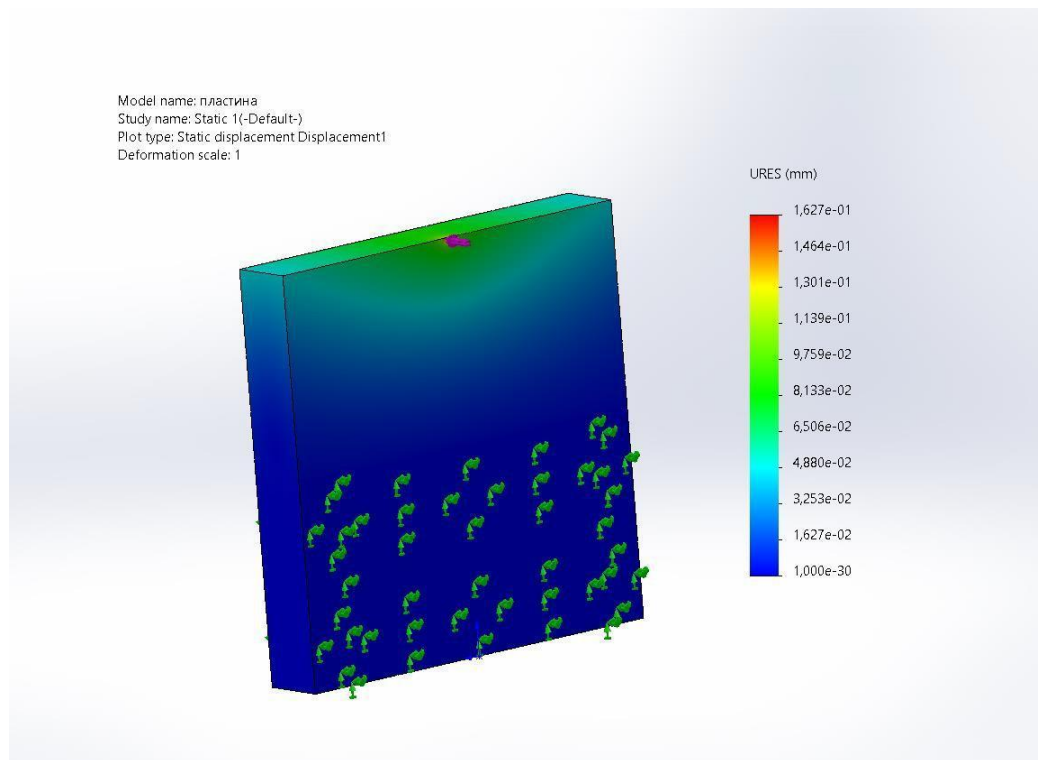


Figure 14 - Deformation with a workpiece thickness of 16 mm, at the midpoint

The table below shows the results of the studies.

	Deformation at midpoint, mm
Thickness=2mm, strength F=10N	0.03503
Thickness=6mm, strength F=1000N	0.1437
Thickness=16mm, strength F=1000N	0.1627

For further research, we will choose a more rigid workpiece with a thickness of 16 mm. When choosing this workpiece, the influence of the rigidity of the workpiece itself on the machining accuracy can be neglected.

Selection of processing modes

The cutting conditions in this work were chosen based on the sources [37, 38, 39, 40, 41, 42]:

- $V \approx 30 - 100 \text{ m / min}$,
- $s \approx 0.05 - 0.2 \text{ mm / rev}$,
- $t \approx 1 - 1.3 \text{ mm}$.

A cutter from the MION catalog was chosen as a cutting tool. Carbide end mill universal, with the number of teeth $z=2$. (Figure 15)

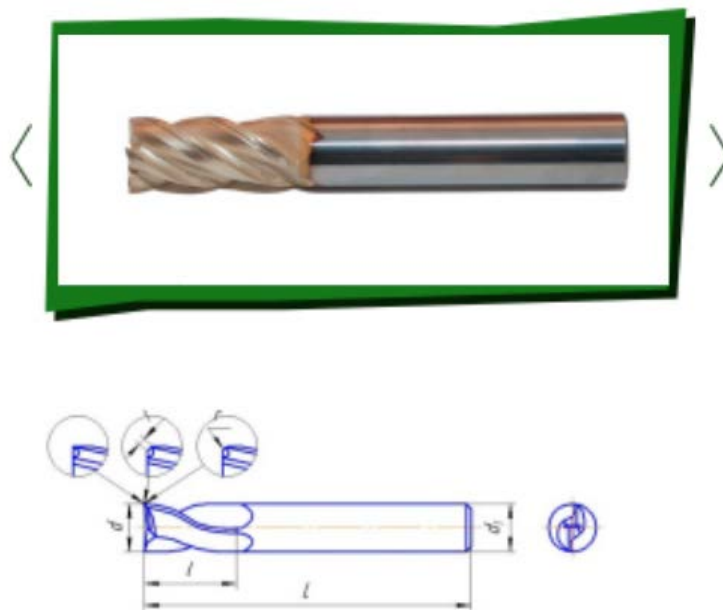


Figure 15- Universal carbide end mill

Geometrical parameters of the cutter:

Table 3- Geometrical parameters of the cutter

Designation	d , mm	l , mm	L , mm	d1 , mm	Z , mm
U 602-8-11-59-SV	eight	eleven	59	eight	2

This cutter is universal in its application and can be used for the manufacture of a large number of products. The diameter of the cutter is close to the maximum possible in an application on a small-sized milling machine.

Study of the mathematical model of the milling process

As a method for studying the influence of the rigidity of a small-sized CNC milling machine on the accuracy of machined parts, the method of mathematical modeling of the machining process is used.

The essence of mathematical modeling is the creation of a model that reflects reality. By mathematical modeling we will understand the process of establishing correspondence to a given real object of some mathematical object, called a mathematical model, and the study of this model, which allows obtaining the characteristics of the real object under consideration. The type of mathematical model depends on both the nature of the real object and the tasks of studying the object and the required reliability and accuracy of solving this problem. The essence of mathematical modeling is reduced to the creation of a mathematical model.

The study of the mathematical model will be carried out in the MatLab software product . Its functionality is more than enough to clearly demonstrate the dependence under study.

The purpose of mathematical modeling of a mechanical system is to study the characteristics of the behavior of objects under the influence of various loads that are variable in time. Thanks to the mathematical model, the following system parameters can be determined:

- natural frequencies and mode shapes
- the greatest amplitude of oscillations,
- distribution of stresses and deformations under various modes during the operation of the structure.

Thanks to the definition of these parameters, it is possible to control the dynamic properties of products at the design stage.

To calculate technological parameters in time, a C program was used with modifications for this topic and the selected model. The result of the calculation is displayed in the " txt " format as an array of numbers with fourteen columns and one million lines. The calculations are carried out for a time interval from zero to one second of processing, with a time period of one millionth of a second. The initial data are given in the table.

Table 4- Preset Initial Parameters

Given options in the program	Units measure ments	Parameter
t_max = 1.0000	With	Calculation time
dt = 0.00000100	With	Time period interval
omega_cutter = 120	Rad/s	Speed rotation cutters
s_z = 0.2	mm	Feed per tooth
cutter_diameter = 0.03	m	Diameter cutters
depth_of_cut = 0.0005	m	Depth of cut
number_of_cutting_line = 3		Number teeth tool
cutting_tooth_in_line = one		Number teeth in a row
mass_1 = 524		Tool weight
mass_3 = 890		Part support weight
alpha_01_x = 1000	m ² /s	Viscosity tool supports
alpha_01_y = 1000	m ² /s	Viscosity tool supports
alpha_12_x = 1000	m ² /s	Viscosity part material
alpha_12_y = 1000	m ² /s	Viscosity part material
alpha_30_x = 1000	m ² /s	Viscosity support parts
alpha_30_y = 1000	m ² /s	Viscosity support parts
ridigity_01_x = 70000000	N/m	Ridigity tool supports
ridigity_01_y = 70000000	N/m	Ridigity tool supports
ridigity_30_x = 70000000	N/m	Ridigity support parts
ridigity_30_y = 70000000	N/m	Ridigity support parts

young_modulus = 200000000000		Young's modulus
type_of_tooth = R	a circle	Tooth type
height_of_tooth = 0.007	m	Dimensions teeth, height
width_of_tooth = 0.0025	M	Width
radius_of_tooth = 0.003	M	Radius
angle_of_taper = 60	degree	Corner at the top
specific_force = 1992	H	Specific cutting force
implementation_time = 0.1	With	Time embedding in a part

The result of the program's work generates a result in the form of an array of numbers.

Next, a model is created to analyze the fluctuations. Forced oscillations of the model are described by the equation:

$$\ddot{x} + 2\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{f}{m} \cos(\gamma t) \quad (2.4.1)$$

where λ is the attenuation coefficient, rad/s; ω_0 – natural oscillation frequency or cyclic frequency, rad/s; $F = f \cos(\gamma t)$ – periodic external force, N; f is the amplitude of cutting force fluctuations, N; γ is the frequency of change of the driving force, rad/s; m is the weight of the cargo, kg; x is the path, m; \dot{x} – speed, m/s; \ddot{x} – acceleration, m/s²

Replacing the terms of the product ω_0 and 2 equation (2.4.1) by

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad 2 = \frac{\alpha}{m}$$

and multiply both parts of the equation by m , we obtain equation (2.4.1) in the following form:

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + cx = f \cdot \cos(\gamma t) \quad (2.4.2)$$

where c is the stiffness of the spring, N/m; α – coefficient of proportionality friction force and speed (kg/s), i.e.

$$\alpha = -\frac{F_{\text{Tp}}}{\dot{x}}$$

and has a positive meaning; F_{Tp} – friction force, N; x – speed, m/s.

It is also important that the parameters m may α depend on time t , speed \dot{x} or acceleration \ddot{x} . Based on this, expression (2.5.2) can be used for wide application.

In this system, the rigidity of the system is not linear and depends on the force acting on the part. A study of the movement of the workpiece in real time will show how much the surface of the workpiece deviates during the milling process.

Reading data with MATLAB

MATLAB software product - this is a package of applied programs for solving problems of technical calculations, with its help an array of data was structured and dependence graphs of the selected variables were built.

The result of the calculation is displayed in the "txt" format as an array of numbers with fourteen columns and one million lines. To analyze and process the received data, you need to use an additional program. With MATLAB, an array of values is recognized as an array with given positions, so you can split the array into columns. The meaning of each column is shown in Table 4.

Table 5- Name of columns by technological parameters

Number column	Unit measurements	Parameter	Designation
one	sec	Time	t
2	mm	Movements fluctuations of the cutter X axis _	x1
3	mm	moving surface layer X axis _	xed
four	mm	Deformation amount details X axis _	x2
5	mm	Deformation amount supports along the axis X	x3
6	mm	Movements fluctuations of the cutter along the axis Y	y1

7	mm	moving surface layer along the axis Y	yes
eight	mm	Deformation amount details along the axis Y	y2
9	mm	Deformation amount supports along the axis Y	y3
ten	mm/sec	speed displacement details X axis _	Vx1
eleven	mm/sec	Speed deformations superficial layer on x - axis	Vx_ed
12	mm/sec	speed displacement details X axis _	Vx2
13	mm/sec	Speed displacement support parts X axis _	Vx3
fourteen	mm/sec	Speed tool along the axis Y	Vy1
fifteen	mm/sec	Speed deformations superficial layer on axes Y	Vy_ed
16	mm/sec	speed displacement details along the axis Y	Vy2
17	mm/sec	Speed displacement support parts along the axis Y	Vy3
eighteen	H	Projection forces on the X axis	fx
19	H	Projection forces on the Y axis	fy
twenty	mm	Chip thickness	S
21	Tue	cutting force	Pcut
22	Tue	Power forces friction	Pfric

The internal code of the recognition program in MATLAB is given in Appendix A.

After recognizing a data array with specific positions, it is necessary to build the dependence of the parameters of the processing system in the MATLAB environment .

Analysis of the behavior of technological characteristics in time at different cutting frequencies

Based on the data received by the program, it is possible to investigate the behavior of the system during processing.