

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

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»  
Отделение школы (НОЦ): Отделение материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Моделирование процессов в оборудовании при обработке тонкостенных деталей</b>

УДК: 621.914-05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Кадочникова Виктория Владимировна		

Руководитель

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	Кащук И.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

По разделу «Иностранный язык»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Диденко А.В.	к.ф.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Крауиньш П.Я.	Д.Т.Н.		

Томск – 2020

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

По основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль подготовки «Конструирование технологического оборудования» инженерная школа новых производственных технологии, отделение материаловедения, руководитель ООП Крауиньш П.Я.

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения</b>
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для создания нового технологического оборудования и машин.
P2	Применять глубокие знания в области современных методов проектирования и технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием технологических машин и их эксплуатацией, с использованием производственных испытаний, системного анализа, моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать и проектировать новое оборудование и технологические машины и использовать новое оборудование, и инструменты для производства изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования при создании современных высокоэффективных машин, технологий производства изделий, материалов, nano технологий

Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
Р7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
Р8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
Р9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
Р10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
Р11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»  
Отделение школы (НОЦ): Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Крауиньш П.Я.  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ81	Кадочниковой Виктории Владимировне

Тема работы:

Моделирование процессов в оборудовании при обработке тонкостенных деталей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№5970/с от 28.02.20

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую	<b>Объект исследования:</b> Математическая модель процесса фрезерования тонкостенной детали Целью данной работы является теоретическое проверка возможности управления точностью обработки тонкостенных деталей при фрезеровании.
---	--

среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	1. Литературный обзор; 2. Создание математической модели установки; 3. Исследование резонансных частот; 4. Исследование деформаций детали при нагрузке; 5. Исследование математической модели процесса обработки тонкостенной детали с учетом времени; 6. Анализ результатов.
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	Трёхмерная модель исследуемой лопасти, графики исследований, математическая модель.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.
Социальная ответственность	Романцов И.И.
Иностранный язык	Диденко А.В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	<b>02.03.2020</b>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Крауиньш П.Я.	Д.Т.Н.		

Консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Козарь Д.М	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Кадочникова Виктория Владимировна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4НМ81	Кадочникова Виктория Владимировна

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

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

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

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

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ по исследованию обработки в режиме реального времени
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

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

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Кадочникова Виктория Владимировна		
Группа	ФИО		
4НМ81	Кадочникова Виктория Владимировна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4НМ81		ФИО Кадочникова Виктория Владимировна	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско- технологическое обеспечение машиностроительных производств

Тема ВКР:

Моделирование процессов в оборудовании при обработке тонкостенных деталей	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является способ управления режимами обработки в реальном времени посредством прогнозирования технологических параметров при помощи математического моделирования. Экспериментальная часть работы велась на ПК. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером. Рабочая зона -аудитория, которая оборудованная системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Область применения – авиастроение, машиностроение, космическая и энергетическая промышленность.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ;</li> <li>- Федеральный закон «Об основах охраны труда в РФ»;</li> <li>- Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве»;</li> <li>- Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;</li> <li>- Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;</li> <li>- Федеральный закон «О пожарной безопасности».</li> <li>- гигиенические требования по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</li> <li>- размещение рабочего места по ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ;</li> <li>- ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.</li> <li>- СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.</li> <li>- СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение</li> <li>- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.</li> <li>- ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.</li> <li>- Федеральным классификационным каталогом отходов (2017)</li> <li>- ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны</li> </ul>

<p>2. Профессиональная социальная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.</p> <p>2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.</p>	<p>В производственной среде и при применении вычислительной техники вероятно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– микроклимат;</li> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– недостаточное освещение;</li> <li>– электромагнитные излучения;</li> <li>– зрительное напряжение;</li> <li>– нервно-эмоциональные перегрузки</li> </ul> <p>Опасные проявления факторов производственной среды: Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Основные загрязнители: Комплектующие ПК и макулатура, утилизация люминесцентных ламп, микросхем оборудования.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возможные ЧС: наводнения, ураганы, пожары, Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара на рабочем месте, электрическое поражение током человека.</p>

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романцов И. И.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Кадочникова Виктория Владимировна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 184 страницы, 50 рисунков, 23 таблицы, 42 источника, 3 приложения.

Ключевые слова: динамика фрезерования, колебания, управление, скорость резания.

Объектом исследования является математическая модель процесса фрезерования тонкостенной детали.

Целью данной работы является теоретическая проверка возможности управления точностью обработки тонкостенных деталей при фрезеровании.

В рамках проведенной работы произведен анализ статей на русском и английском языках по данной теме. Рассмотрены методы обработки лопаток турбин, способы повышения точности обработки и качества поверхности.

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

Найдены значения технологических параметров математической модели обработки тонкостенной детали во времени. Создана программа для чтения, полученного другой программой результата значений и программа для создания 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.

## Содержание

Введение.....	14
1 Литературный обзор .....	16
Заключение раздела .....	28
2 Расчеты и аналитика .....	30
2.1 Исследование резонансных частот.....	30
2.2 Исследование перемещений обрабатываемой детали.....	36
2.3 Исследование математической модели процесса обработки тонкостенной детали     45	
2.4 Считывание данных с помощью MATLAB.....	48
2.5 Анализ поведения технологических характеристик во времени при разной частоте резания.....	50
Заключение раздела .....	62
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	64
3.1 Предпроектный анализ .....	65
3.2.1 Анализ конкурентных технических решений .....	65
3.2.2 SWOT-анализ.....	67
3.2.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	69
3.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	71
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	71
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	73
3.2.3 Разработка графика проведения проектирования.....	74
3.3 Цели и результат исследования .....	79
3.3.1 Бюджет научного исследования .....	79
3.3.2 Расчет амортизации.....	80
3.3.3 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов) .....	81
3.3.4 Основная заработная плата .....	81

3.3.5	Дополнительная заработная плата .....	82
3.3.6	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	83
3.3.7	Накладные расходы.....	83
3.3.8	Определение ресурсоэффективности исследования .....	84
	Заключение раздела .....	85
4	Социальная ответственность .....	87
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	87
4.3.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства .....	88
4.3.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны...	89
4.2	Профессиональная социальная безопасность .....	90
4.3.3	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	91
4.3.4	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	91
4.3.5	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	98
4.3	Экологическая безопасность.....	100
4.3.6	Анализ влияния объекта исследования и процесса исследования на окружающую среду.....	100
4.3.7	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	101
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
	Заключение раздела .....	104
5	Health and Safety .....	105

## ВВЕДЕНИЕ

В авиационной, космической, энергомашиностроительной и других отраслях промышленности широко используются относительно податливые изделия в первую очередь в форме тонкостенных оболочек. Для подобных деталей актуальна задача минимизации характерных технологических деформаций. Тонкостенные детали представляют особую сложность в механической. Для обработки податливых изделий неприменимы традиционные методы закрепления детали и режимы резания, полученные с помощью типовых расчетов. Деформации, вызываемые силами резания и закрепления, значительно влияют на качество и точность обрабатываемой детали. С целью минимизации технологических деформаций и рисков используется специализированная дополнительная оснастка, что существенно повышает трудоёмкость изготовления изделий. С развитием авиационной и космической промышленности конструкционные требования к тонкостенным деталям становятся все более жесткими, поэтому обработка тонкостенных деталей – распространенный объект рассмотрения ряда современных научных исследований.

Существует проблема обработки податливых деталей. При обработке неизбежно возникают вибрации, обусловленные высокими силами резания при недостаточной жёсткости детали или инструмента. В следствии таких вибраций снижается точность обработанной детали и качество поверхности, вызванная недостаточной жёсткостью технологической системы станка. Как правило вибрацию снижают с помощью увеличения жёсткости закрепления инструмента и обрабатываемой детали или при помощи изменения режимов обработки. Однако в этом случае увеличение жёсткости закрепления инструмента и обрабатываемой детали не даст требуемых результатов в силу высокой собственной податливости детали.

В работе рассматривается альтернативный способ снижения технологических деформаций посредством использования «мягких» режимов

обработки, подразумевающий выбор рациональных параметров резания и условий закрепления на основе результатов численного моделирования. Предложенный метод может быть востребован для этапа проектирования технологических процессов и отвечает современным тенденциям цифрового производства.

Моделирование процесса обработки на ЭВМ дает возможность более широко исследовать влияние различных параметров на точность и качество обработки тонкостенных деталей. В связи с этим актуальным является создание вычислительных программ для исследования поведения податливых деталей и определения параметров технологических процессов.

Целью данной работы является теоретическое подтверждение возможности применения системы управления.

## 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Для исследования обработки тонкостенных податливых деталей рассматривалась лопатка турбины. Сложность обработки лопаток высокая, так как они должны выдерживать большие нагрузки динамические и термические, иметь высокую стойкость. Поэтому их конструкция очень сложна для изготовления.

В лопатке турбины реактивного двигателя реализованы самые совершенные технологии в следствии этого они имеют очень высокую стоимость.

Тонкостенные детали можно изготавливать разными способами, например: литьё, штамповка, фрезерование.

После литья лопатку всё равно придётся дорабатывать

Металл штампованных лопаток очень плотен, прочность его высока, а литой металл остается более рыхлым и заведомо менее прочным, чем отштампованный.

Изначально лопатки делались сплошными и не могли долго выдерживать высокую температуру. Чтобы создать систему их охлаждения решили делать в лопатках пазы для подачи охлаждающего воздуха от компрессора. Лопатки газовых турбин работают в очень сложных условиях в процессе работы они подвергаются воздействию термических и термоусталостных нагрузок [2,3].

В современном машиностроении обработку тонкостенных деталей со сложным профилем и высокими требованиями к точности зачастую производят с помощью специализированных металлообрабатывающих центров с программным управлением. Так за один установ можно добиться высокой точности.

На качество обрабатываемой поверхности и точность изготовленной детали влияют технологические параметры, такие как:

- параметры инструмента;

- скорость подачи;
- скорость вращения инструмента;
- глубина фрезерования.

Для повышения точности и качества поверхности тонкостенной детали следует учитывать динамические параметры системы фреза-деталь.

Особенности динамики процесса обработки резанием и подходы к моделированию этих процессов исследовали такие учёные как: И.С. Амосов, Н.А. Дроздов, А.И. Каширин, В.А. Кудинов, А.П. Соколовский, И. Тлустый, Y. Altintas, E. Budak, G. Stepan, T. Insperger, S.A. Tobias.

В статье [4] представлен алгоритм расчёта технологических параметров «мягких» режимов резания для токарной обработки тонкостенных деталей. Проведен анализ существующих методов обработки тонкостенных деталей и выявлены недостатки, которые можно разрешить с помощью создания автоматизированной системы.

В статье [5], [6] Рассмотрены основные подходы, применяемые для бездефектной обработки тонкостенных деталей. В статье [5] в основном рассматриваются возможности, создания условий подготовки производства при минимальных материальных и ресурсных затратах.

В статье [8] разработаны с помощью метода конечно-элементного моделирования и приведены рекомендации по выбору нерезонансных частот вращения шпинделя фрезерного станка.

В статье [10] проведён анализ тонкостенных деталей с рёбрами жёсткости, рассмотрены различные способы обработки деталей (ковка, сварка, литье и аддитивные технологии) с применением разных материалов металлы, полимеры и керамику.

В статьях [7], [11] рассматриваются колебания в динамической системе.

В статье [12] исследование направлено на определение виброустойчивых режимов обработки опираясь на то, что технологическая система при резании является замкнутой упруго-динамической системой.

Рассмотрена математическая модель процесса контурного фрезерования мало жесткой детали в условиях двух не жестких элементов в системе одновременно.

Приведены наглядные рисунки модели при обработке податливой детали.

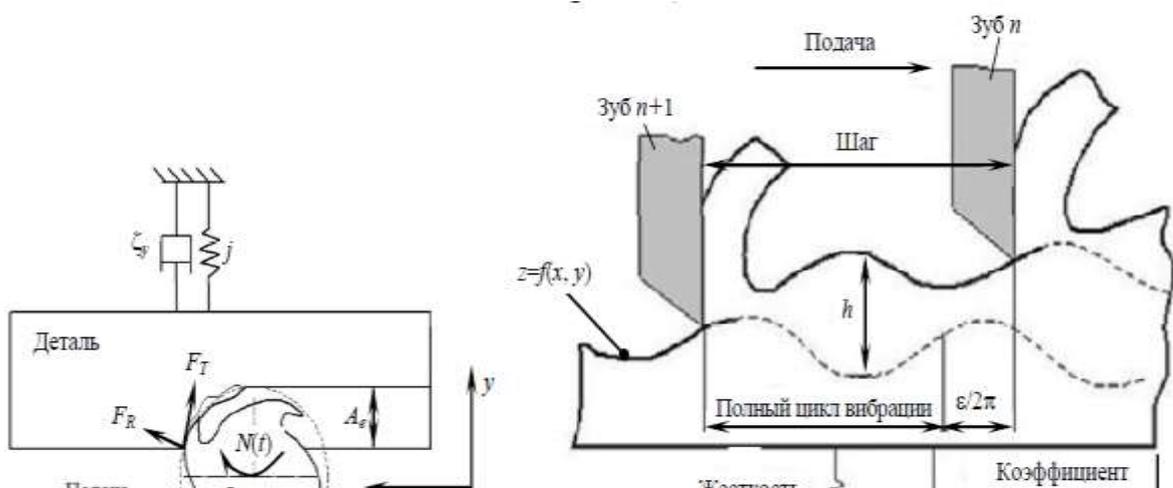


Рисунок 1.1 - Механическая модель процесса фрезерования.

На рисунке слева представлена модель процесса фрезерования с жесткостью фрезы значительно меньше жесткости детали и станка, на рисунке справа представлена модель, где жесткость фрезы и детали меньше жесткости станка.

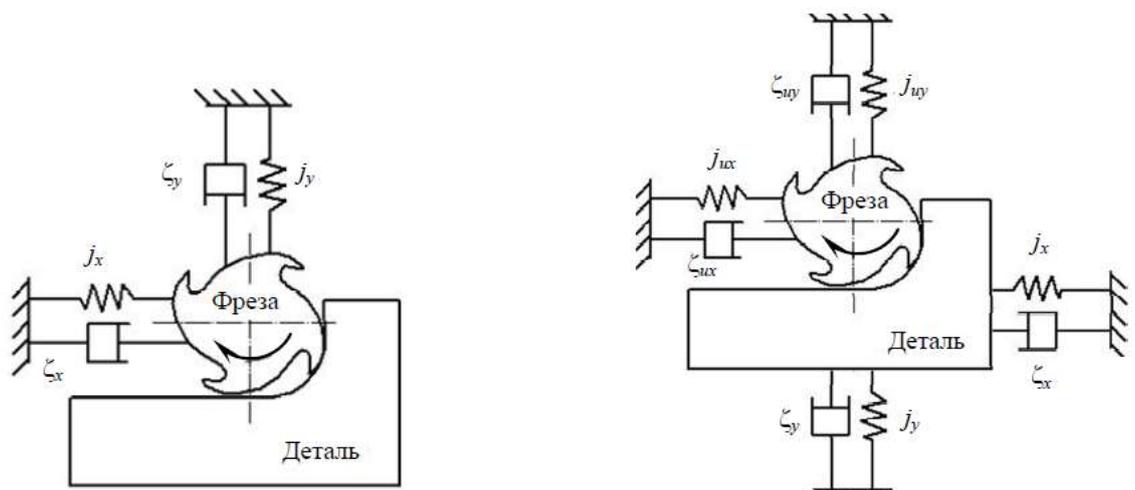


Рисунок 1.2- Модель процесса фрезерования податливой детали и нет.

В статье [13] показано влияние биений шпиндельной группы на притягивающие множества деформационных смещений инструмента при точении.

В статье [14], [15], [16] приведены результаты экспериментального исследования концевой фрезеровки тонкостенных элементов деталей. Рассмотрен механизм формирования колебаний при попутном концевом цилиндрическом фрезеровании и его влияние на процесс резания [14].

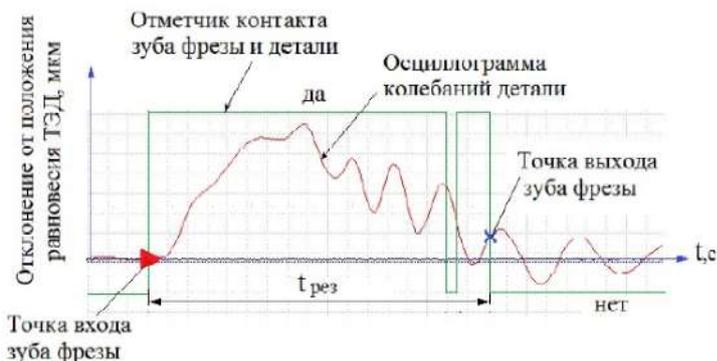


Рисунок 1.3- Зависимость контакта зуба фрезы и детали в процессе концевой цилиндрического фрезерования во временном диапазоне.

Приведены наглядные графики особенностей фрезерования тонкостенных деталей, статья [15].

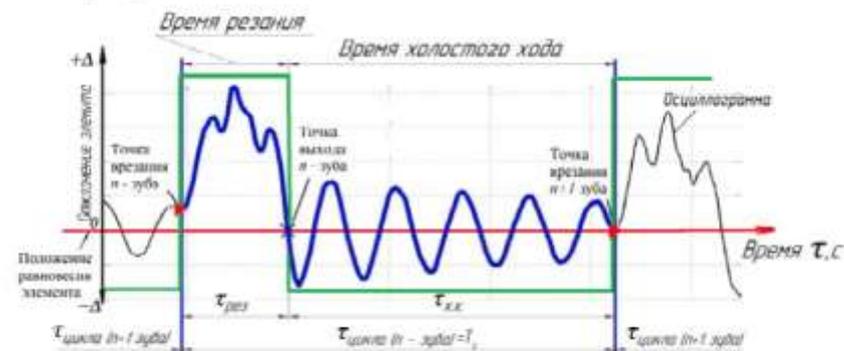


Рис. 5. Фрагмент осциллограммы колебания детали ( $n = 710$  об/мин,  $h = 6$  мм,  $D_{фр} = 20$  мм,  $z = 3$ , ЧСК  $f = 560$  Гц, жесткость  $j = 9924 \cdot 10^3$  Н/м, попутное фрезерование)

Рисунок 1.4. – График исследования из статьи [15].

Также в статье [16] был приведён подобный график.

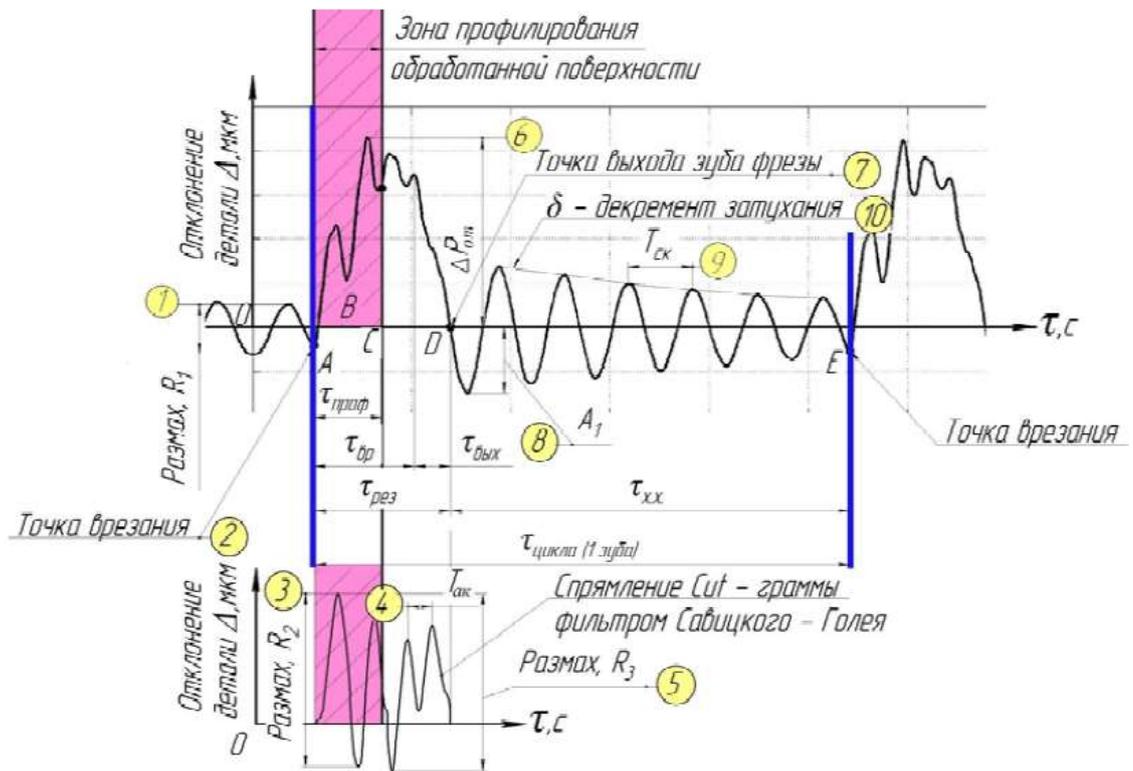


Рисунок 1.5. – График зависимости отклонения детали во времени.

В статье [17] при исследовании линейной модели с применением численного интегрирования были получены более точные границы зон устойчивых параметров процесса фрезерования относительно других зон устойчивости. Разработан дополнительный критерий устойчивости процесса, основанный на анализе качества обработанной поверхности.

Исследование характеристик поведения детали под действием различных нагрузок, переменных во времени в статье [18] показано что можно определить такие параметры системы как собственные частоты и формы колебаний, а также найти наибольшую амплитуду колебаний, распределение напряжений.

В статье [19] рассматривается анализ станка и процесса обработки при различных операциях.

В статье [20] приведено прогнозирование прогибов тонкостенной заготовки на разных этапах обработки. Анализ технических характеристик в разных точках детали и на разных этапах обработки.

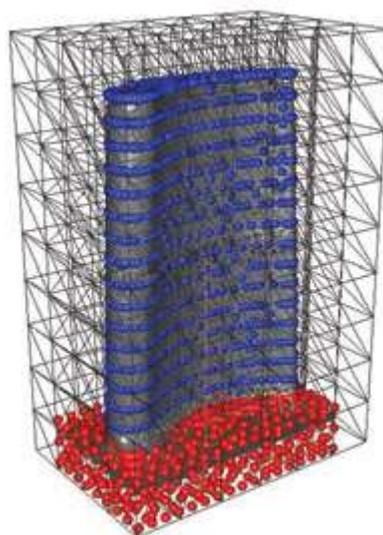


Рисунок 1.6 – Пример сетки лопатки турбины.

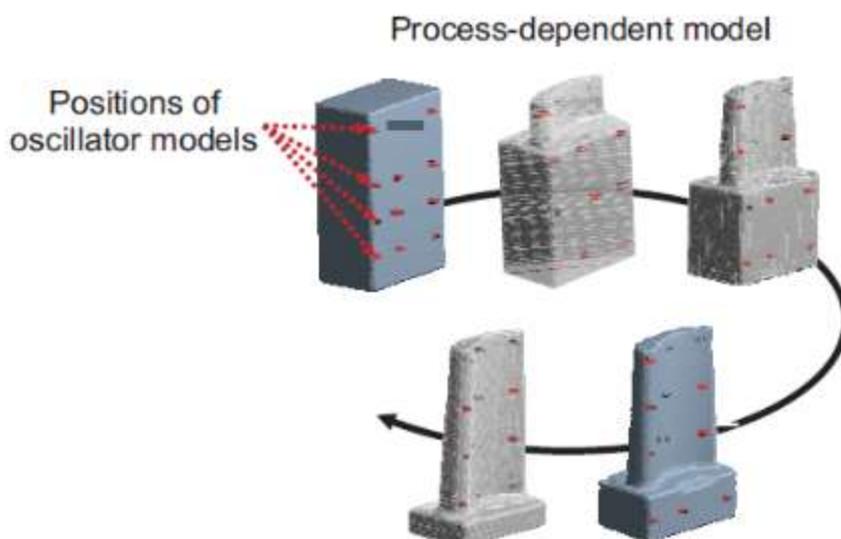


Рисунок 1.7 –Этапы реализации программы ЧПУ.

Автор статьи [21] показывает что с удалением материала с заготовки технологические характеристики обрабатываемой податливой детали меняются и заметно влияют на стабильность технологической системы.

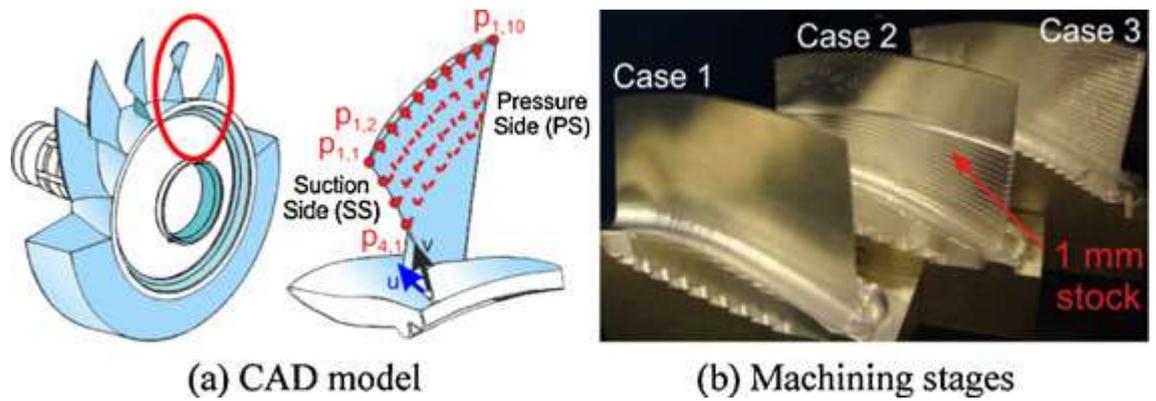
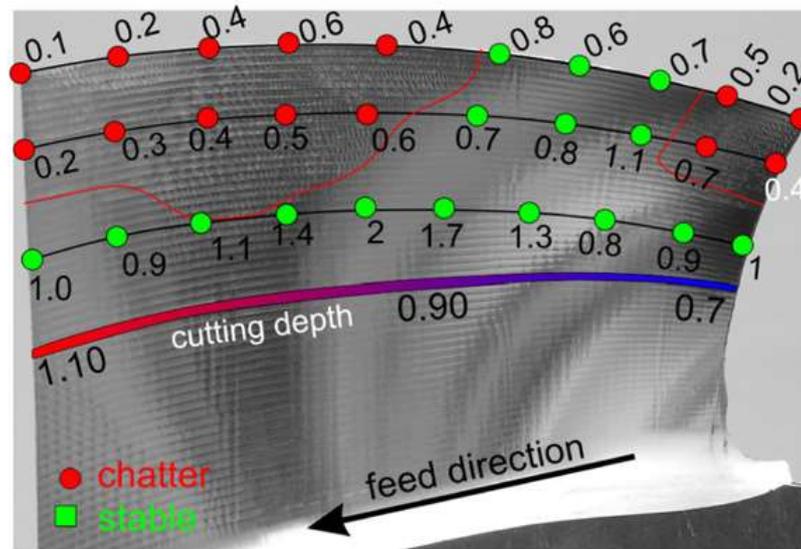
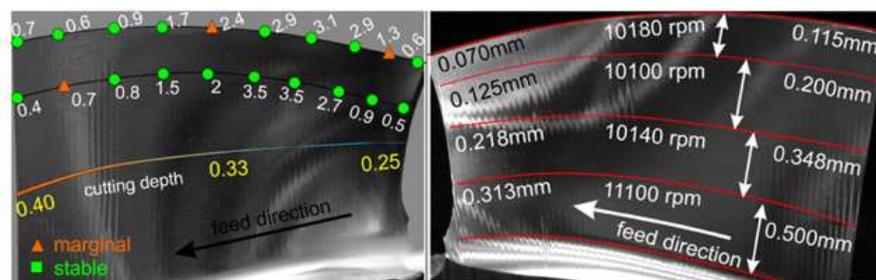


Рисунок 1.8 –Этапы механической обработки.

На рисунке 1.9 показана глубина резания и характеристики разных участков детали, красными точками обозначены участки с значительными вибрациями, зеленые точки – это устойчивая зона. Исходя из этого можно сделать вывод что для каждого участка детали нужно подбирать свой режим обработки, если стоит задача качественной обработки поверхности.



(c) Resulting surface finish on the suction surface (set 1)



(d) Resulting surface after Op3-set 2

(e) Resulting surface after Op4

Рисунок 1.9 – Анализ устойчивых участков при обработке поверхности тонкостенной детали.

В статье [22] рассматривается анализ форм стружки, следы инструмента, действующего на деталь, изменение формы инструмента в ходе обработки. Схожие исследования приведены и в статье [23], стабильность фрезерования также зависит от времени.

В статье [24] Динамика обработки тонкостенной поверхности во времени наблюдение разной структуры. Схожее исследование было в статье [20].

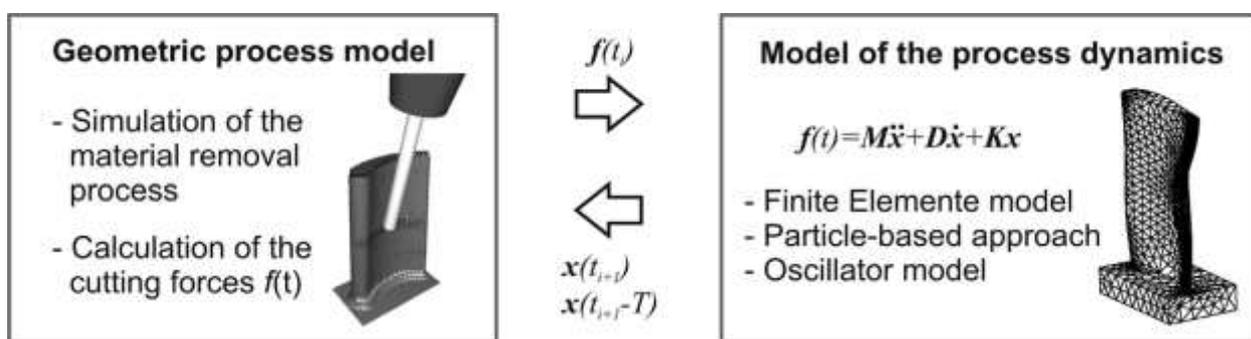


Рисунок 1.10 – Геометрическая модель процесса и модель динамики процесса.

В статье [25] измеряется вращение шпинделя между двумя последующими режущими операциями. Рассматривается возможность подбора частоты вращения фрезы для лучшего качества обработки.

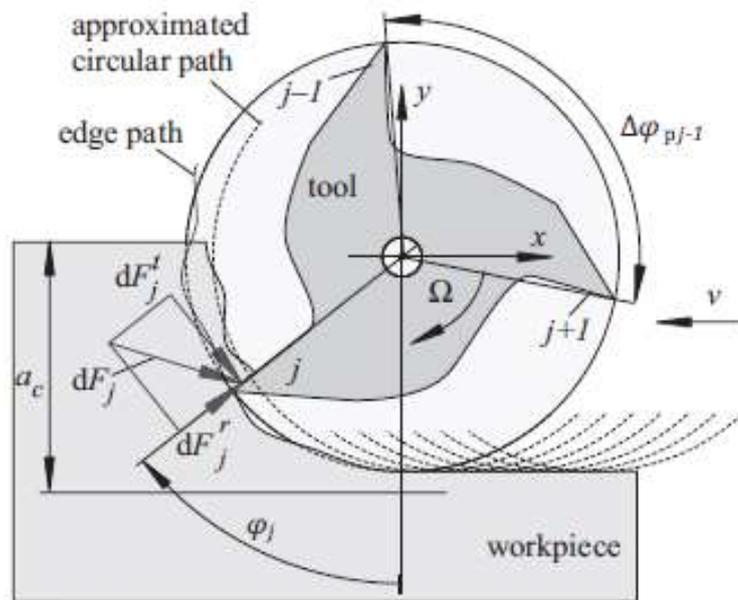


Fig. 1. Representation of the milling process and the applied parameters of the tool geometry.

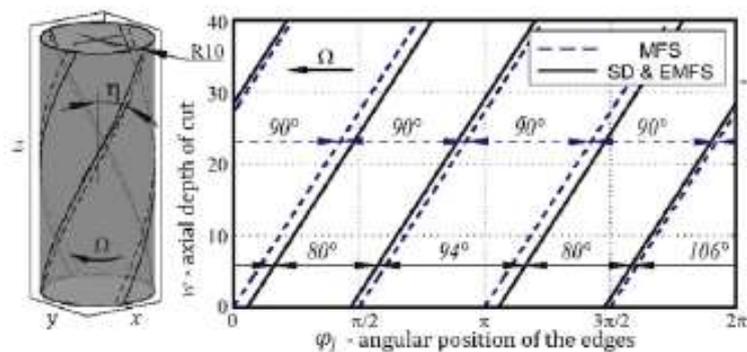


Рисунок 1.11 – Представление процесса фрезерования и применяемых параметров.

В статье [26], [27] объектами исследования являются вибрация и устойчивость системы.

В статье [28] рассматривается влияние геометрии инструмента, на вибрации.

С ростом инноваций и технических возможностей в последнее время стали всё больше изучать возможность обработки тонкостенных деталей с помощью математического моделирования. Концепция исследования построена на зависимости силы резания от значений технологических параметров процесса в работах [29], [31], [30], [33], [34], [35], приведенных

ниже, рассматривается метод обработки с помощью математического моделирования с учётом времени.

В статье [29], [30] разработаны методы анализа, алгоритмы и программное обеспечение с использованием метода конечных элементов. Предложенный алгоритм позволяет учитывать деформации фрезы под действием сил резания и их влияние на формирование срезаемого слоя и геометрии получаемой поверхности.



Рисунок 1.12 – Алгоритм для расчёта параметров системы.

В статье [30] исследуют моделирование динамики процесса точения с учетом податливости обрабатываемой детали, алгоритм приведён на рисунке

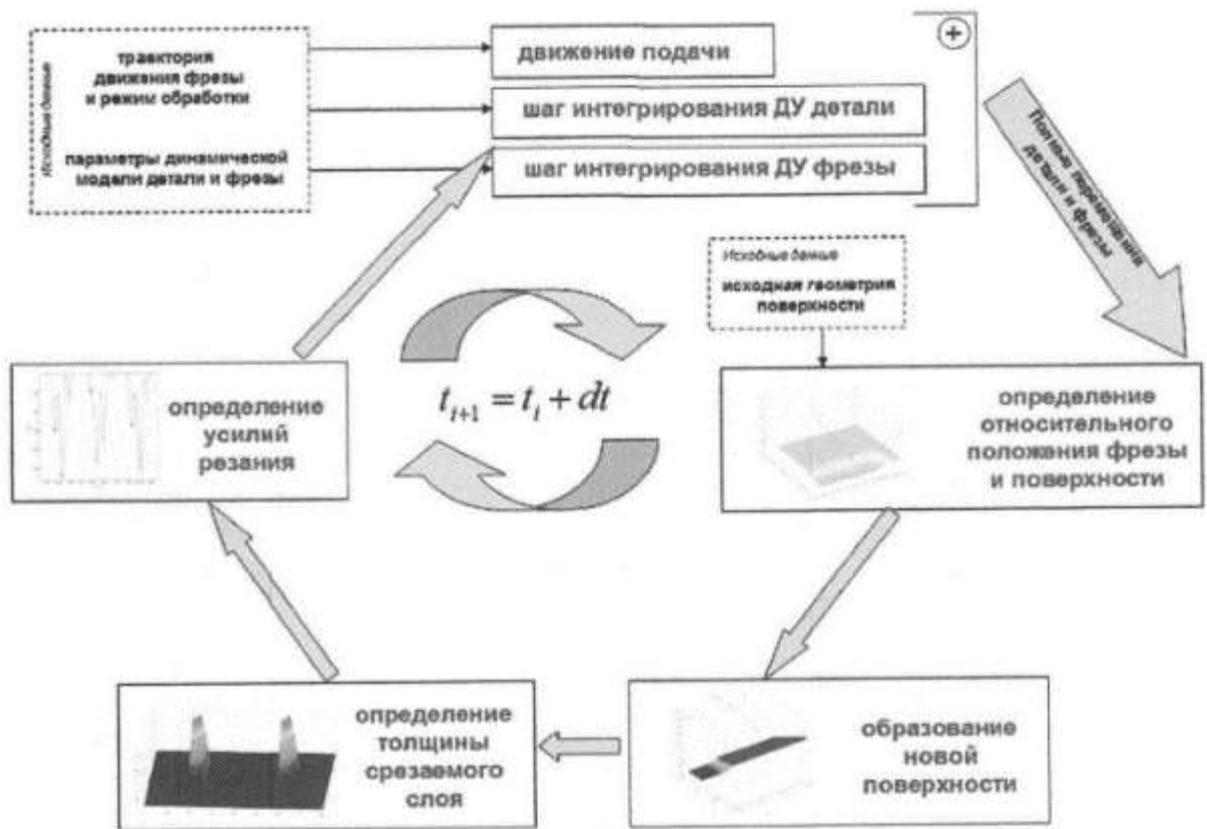


Рисунок 1.13 – Алгоритм программы расчёта технологических параметров системы.

В работе [31] представлен алгоритм корректировки частоты вращения фрезы в режиме реального времени на основе снимаемого сигнала виброускорений.

В статье [30] рассмотрена модель динамики течения. Показан алгоритм математического моделирования сил резания, вибраций детали в зоне обработки, мгновенных значений толщины срезаемого слоя в зависимости от времени, а также форма обработанной поверхности с учетом влияния вибраций.

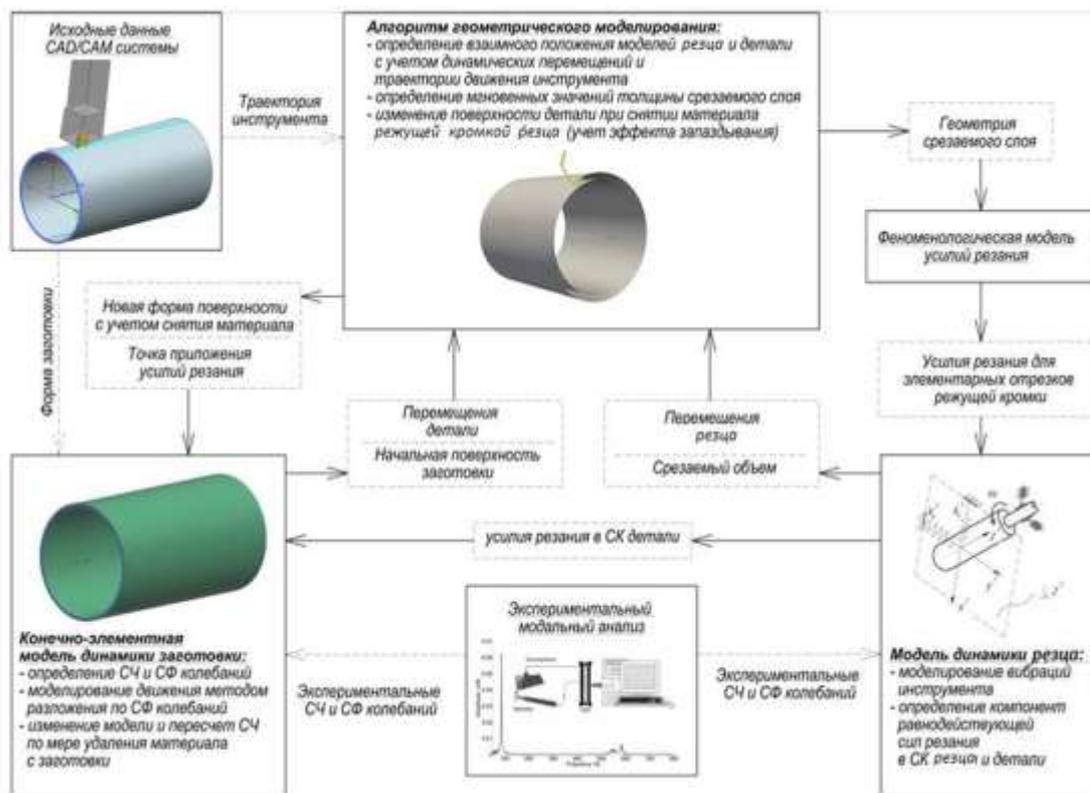


Рисунок 1.14 – Схема исследуемых технологических параметров системы.

В статье [33] разработана стратегия подавления автоколебаний при фрезеровании, основанная на детектировании нарастания автоколебаний и коррекции частоты вращения фрезы в режиме реального времени. Проведена проверка предложенной стратегии на основе модели динамики плоского фрезерования.

В статье [34] разработан метод детектирования автоколебаний при фрезеровании маложестких деталей, основанный на алгоритмах обработки временных рядов. Авторами предложена новая интерпретация результатов многовариантного моделирования процесса фрезерования - карта режимов, которая позволяет назначить параметры режимов обработки, при которых в системе не будут возникать автоколебания, что благоприятно скажется на процессе обработки.

В статье [35] зацепление резца с заготовкой оценивается с учетом деформаций как концевой фрезы, так и лезвия под режущими нагрузками.

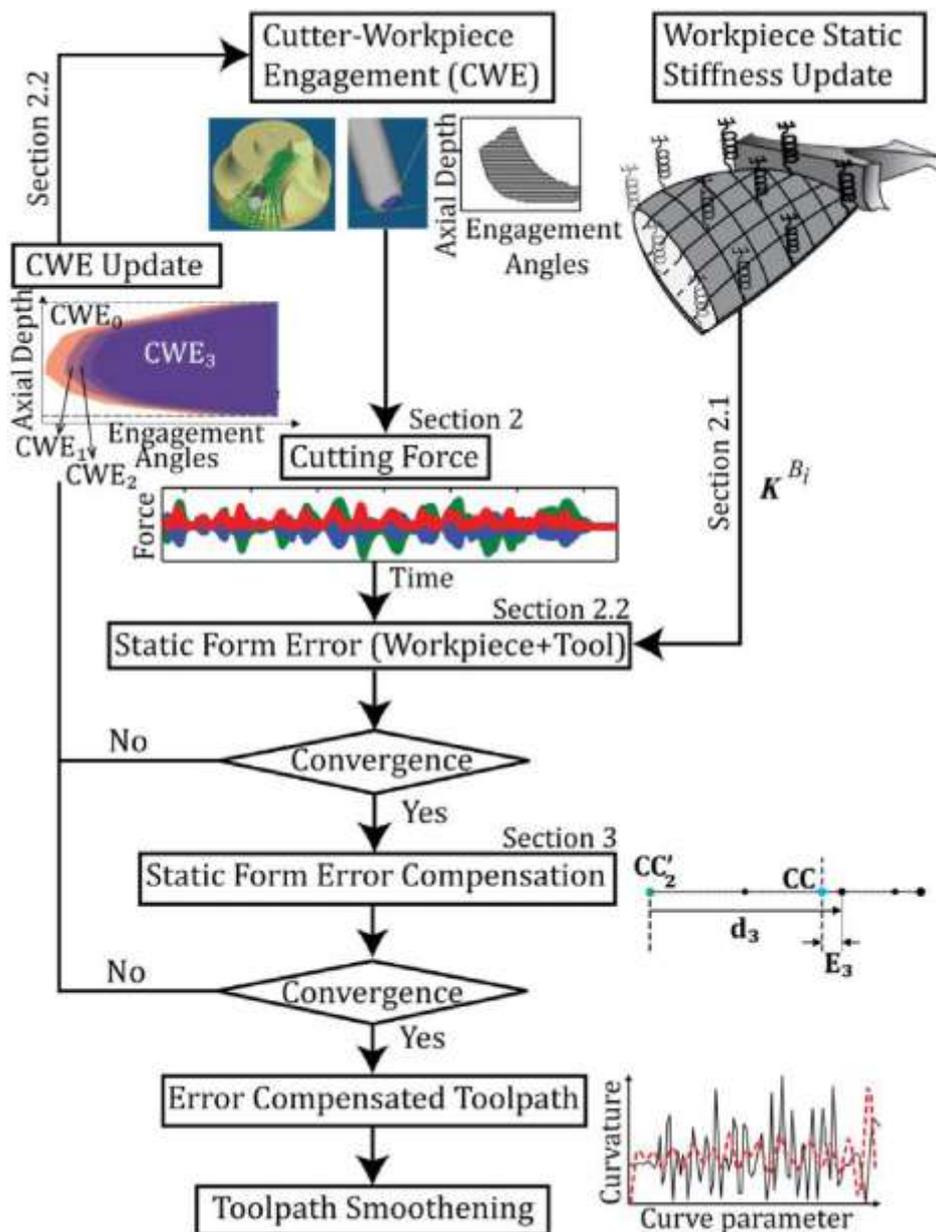


Рисунок 1.15 – Алгоритм программы технологических параметров системы с автокорректировкой режима.

### Заключение раздела

Анализируя выбранные статьи явно прослеживается актуальность, так как множество статей опубликовано за последние 5 лет.

В настоящее время наиболее интенсивно изучаются вопросы связанные с повышением точности лезвийной обработки и качества поверхностного слоя изделия. Проведя анализ найденных статей можно выявить 3 основные направления для решения этих задач:

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

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

3. Управление режимами обработки в реальном времени.

Первые два направления 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. Это открыло возможности для поиска совершенно новых методов активного воздействия на вибрацию технологической системы при резании.

Несмотря на то, что описанные подходы позволяют моделировать динамику процесса фрезерования, каждый из них имеет недостатки: либо не учитывается изменение динамических характеристик заготовки по мере снятия материала, либо алгоритм геометрического моделирования содержит в себе возможность возникновения существенных погрешностей, или непригоден для моделирования обработки сложно-профильных деталей, либо исследуется.

В настоящее время отсутствуют методики и соответствующие программные средства, позволяющие выполнять комплексное имитационное моделирование динамики процесса 5-ти координатного фрезерования податливых тонкостенных деталей и выбирать рациональные режимы обработки на основе результатов моделирования.

## **2 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА**

Целью математического моделирования механических систем в динамике является исследование характеристик поведения объектов под действием различных нагрузок, переменных во времени. С помощью модели можно определить такие параметры системы как собственные частоты и формы колебаний, а также найти наибольшую амплитуду колебаний, распределение напряжений и деформаций при различных режимах при эксплуатации конструкции. Тем самым управлять динамическими свойствами изделий на этапе проектирования.

### **2.1 Исследование резонансных частот**

Особую важность представляет управление спектром собственных частот будущей системы. Зная геометрические параметры, свойства материала, конструктивные особенности можно определялись резонансные частоты обрабатываемой лопасти.

В данной работе определялись резонансные частоты лопасти и разделение частот по видам колебаний.

Каждая деталь имеет собственную частоту вибраций, при обработке детали важно не попасть системе в резонанс. Для этого нужно найти собственные частоты обрабатываемой детали.

На рисунке приведено изображение построенной исследуемой 3D модели в САПР SolidWorks.

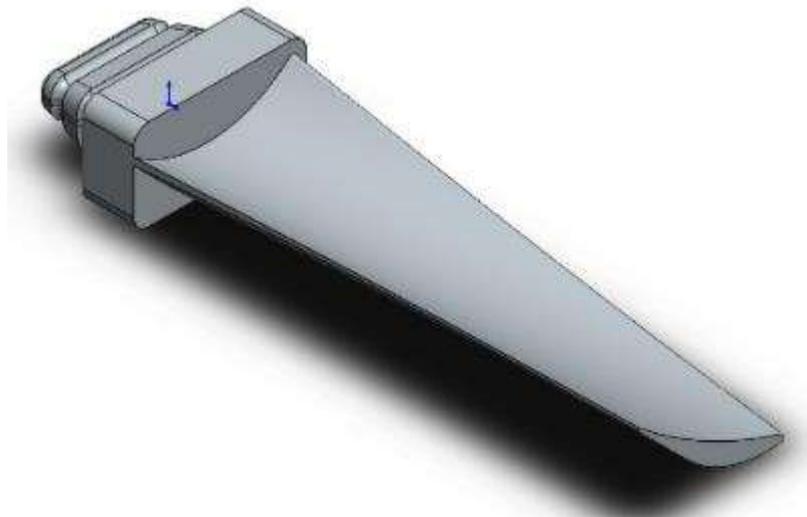


Рисунок 2.1 – 3D модель лопасти турбин.

Выбор материала, для изготовления лопаток турбин, основывается на нескольких факторах:

- типом и размерами лопатки;
- условиями эксплуатации;
- способом изготовления;
- конечной стоимостью изделия.

Лопатки турбин эксплуатируются в тяжелых условиях. В процессе воздействия высоких температур лопатки турбин подвержены большим центробежным и усталостным нагрузкам, в результате это приводит к возникновению процессов ползучести металла.

Опираясь на статью [36] можно сформулировать несколько требований к материалу для лопаток турбин:

1. Сплавы должны обладать наибольшими показателями длительной прочности и ползучести в условиях эксплуатации при высоких температурах.
2. Сплавы должны отличаться низкими коэффициентами диффузионной подвижности атомов и высокой структурной стабильностью.
3. Сплавы должны иметь высокую усталостную прочность и низкую чувствительность к концентраторам напряжений.

Был выбран сплав ВТ8. Сплав ВТ8 подходит для изготовления полуфабрикатов (листов, лент, фольги, полос, плит, прутков, профилей, труб,

поковок и штампованных заготовок) методом деформации, а также слитков; деталей различного назначения, работающих при температуре до +480°C; деталей газотурбинных авиационных двигателей. Свойства материала ВТ8 представлены в таблице.

Таблица 2.1 – Свойства материала ВТ8

Теплопроводность $\lambda$ ,	Вт/(м·град)	7,1
Плотность $\rho$ ,	кг\м	4480
Предел прочности $\sigma_b$ ,	МПа	930-980
Предел текучести $\sigma_t$ ,	МПа	530
Относительное удлинение $\delta$ ,	%	% 6-8
Поперечное сужение $\psi$ ,	%	15-20
Модуль упругости	кГ/мм <sup>2</sup>	12000 при 100° С
Ударная вязкость ,	кДж / м <sup>2</sup>	200-300
Модуль сдвига G,	Гпа	44
Удельная теплоемкость C,	кДж/(кг·°С)	503
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha_l$	°С-1	8.3
Коэффициент Пуассона		0.394

Далее был добавлен новый материал в список библиотеки материалов SolidWorks, заполнены свойства материала.

Место крепления лопасти при анализе показано на рисунке ниже зелеными стрелками.

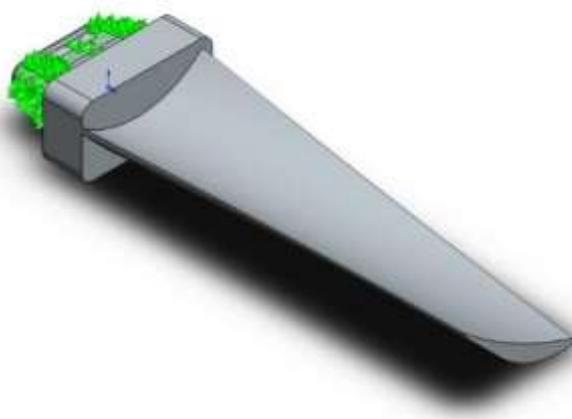


Рисунок 2.2 - Крепление лопасти турбин.

Ниже приведены изображения исследований, на которых показана информация о форме и частоте колебаний. На рисунках приведены 5 разных форм колебаний соответственно 5 разных частот. Также справа отображается цветовая шкала, на которой показана величина возможных перемещений.

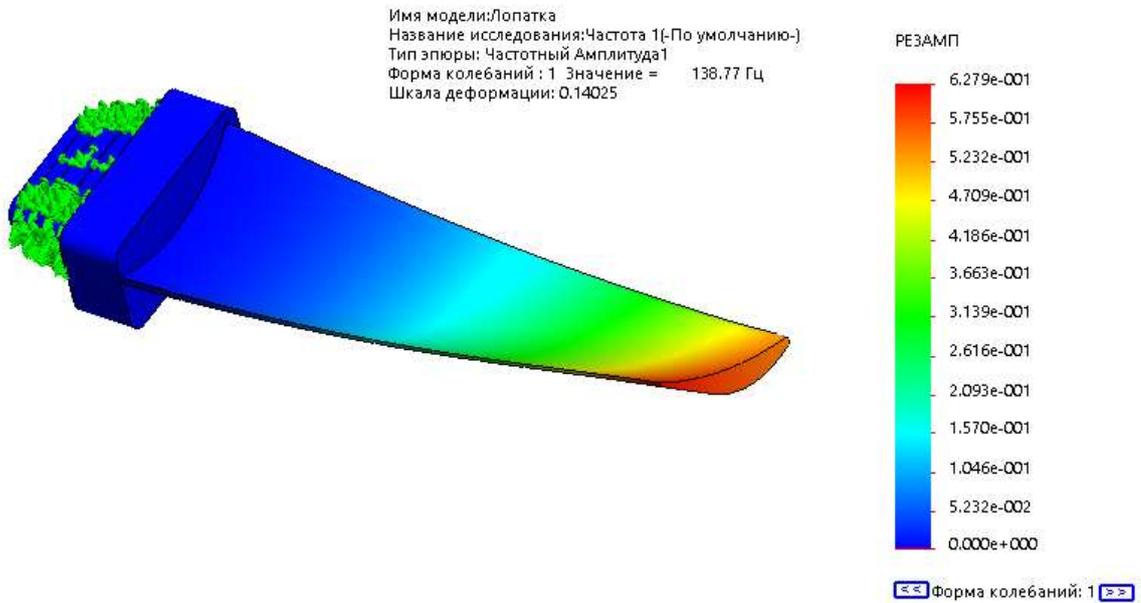


Рисунок 2.3 - Форма колебаний 1.

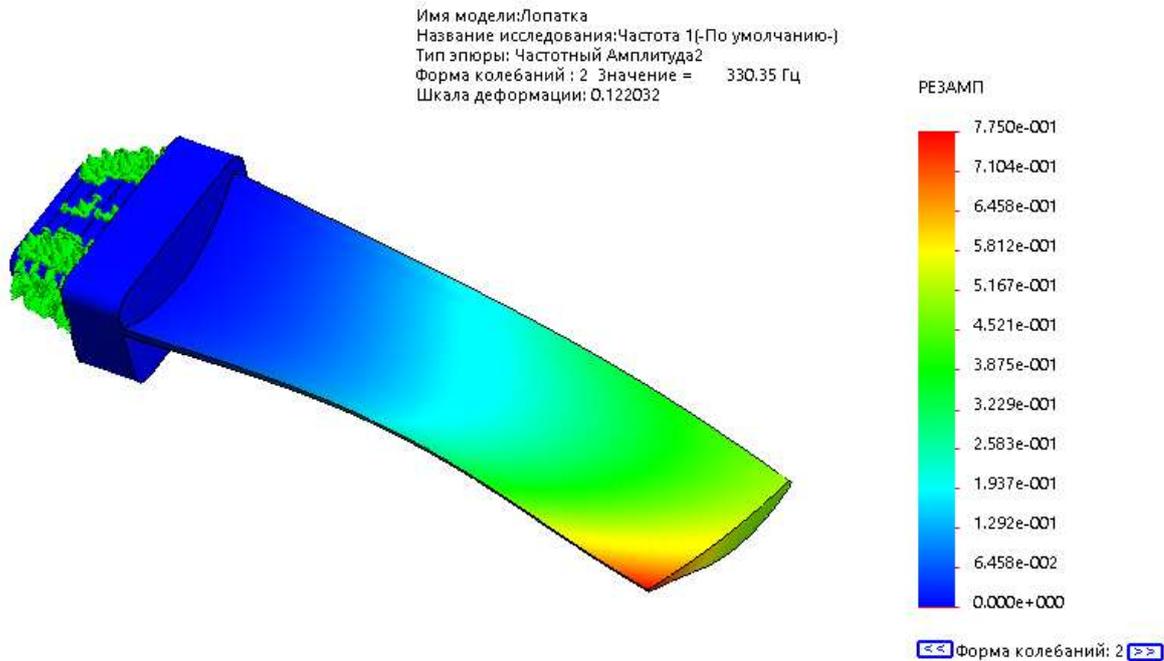


Рисунок 2.4 - Форма колебаний 2.

Имя модели: Лопатка  
Название исследования: Частота 1(-По умолчанию-)  
Тип эюры: Частотный Амплитуда3  
Форма колебаний : 3 Значение = 570 Гц  
Шкала деформации: 0.072898

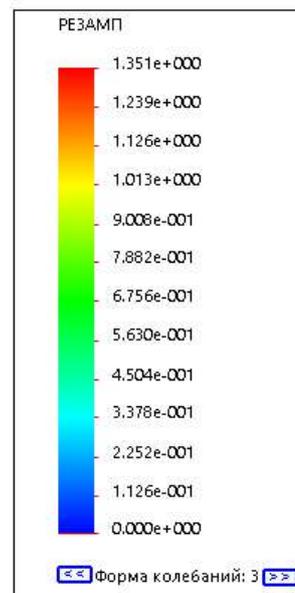
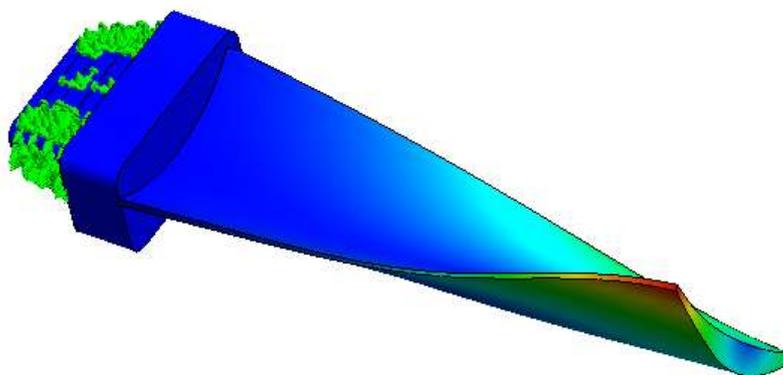


Рисунок 2.5 - Форма колебаний 3.

Имя модели: Лопатка  
Название исследования: Частота 1(-По умолчанию-)  
Тип эюры: Частотный Амплитуда4  
Форма колебаний : 4 Значение = 577.39 Гц  
Шкала деформации: 0.103192

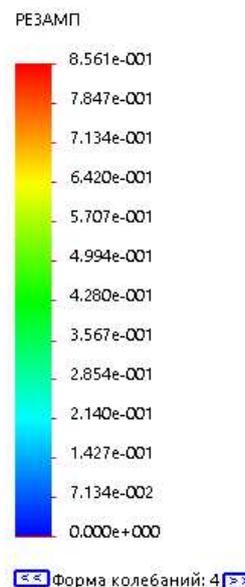
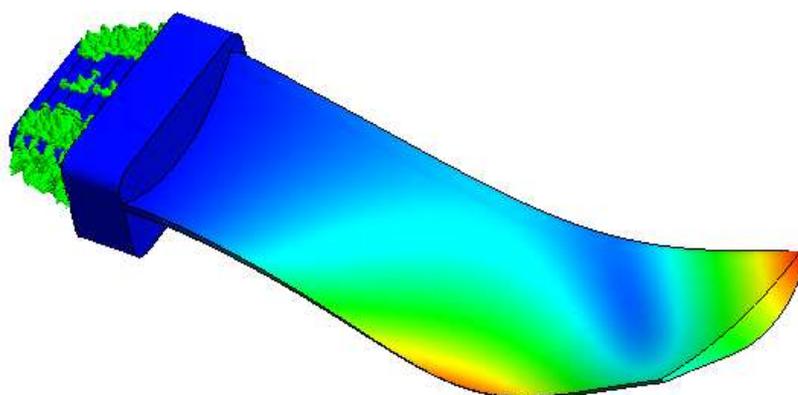


Рисунок 2.6 - Форма колебаний 4.

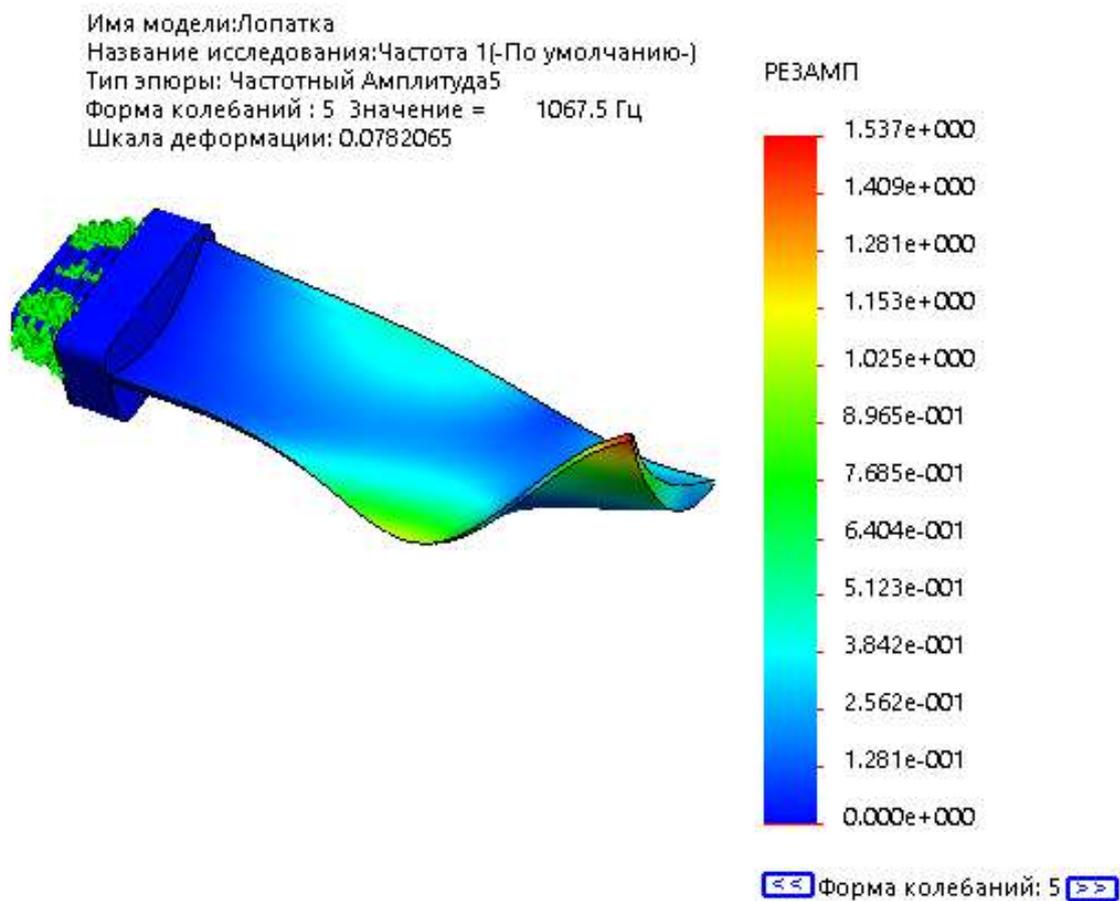


Рисунок 2.7 - Форма колебаний 5.

Результаты исследования формы колебаний и соответствующих частот приведены в таблице.

Таблица 2.2 - Список собственных частот.

Количество частот	Рад/сек	Герц	Секунды
1	871.89	138.77	0.0072064
2	2075.7	330.35	0.0030271
3	3581.4	570	0.0017544
4	3627.9	577.39	0.0017319
5	6707.5	1067.5	0.00093674

Таблица 2.3 Разделение собственных частот колебаний детали по видам и направлениям.

Номер режима	Частотный (Герц)	Направление X	Направление Y	Направление Z
1	138.77	0.0001	0.279	0.002
2	330.35	0.00002	0.0260	0.256
3	570	0.0010	0.019	0.044
4	577.39	0.0004	0.093	0.0230
5	1067.5	0.0027	0.049	0.026

Было найдено 5 собственных частот и далее при проектировании процесса обработки детали следует учитывать, чтобы инструмент, обрабатываемый лопасти, не попадал в резонанс с самой лопастью (деталью).

## 2.2 Исследование перемещений обрабатываемой детали

Изначально производится черновая обработка сплава. Податливость обрабатываемой детали при черновой обработке значительно меньше податливости при чистовой обработке. Произведено два исследования условно при черновой обработке и чистовой.

Этапы исследования перемещений обрабатываемой детали при чистовой и черновой обработки:

1. Построение исследуемой 3D модели в САПР SolidWorks.
2. Задание технологических характеристик данной детали.
3. Обозначение крепления лопасти в SOLIDWORKS Simulation.
4. Распределение контрольных точек измерения.

Так как деталь податливая и имеет сложную форму, то технологические характеристики в разных точках поверхности этой детали будут различаться, эта наглядно показано и объяснено в статьях: [20], [21].

Для наблюдения зависимости были взяты пять точек, расположенные продольно в центре лопасти на расстоянии 150 мм друг от друга (Т.1, Т.2, Е.3, Т4, Т5) и три точки расположенные перпендикулярно

предыдущим пяти (Т.1.1, Т.1.2, Т.1.3). На рисунке 2.8 показано расположение точек, к которым будет прикладываться сила, и их обозначение.

Для имитации фрезы диаметр точек, к которым прикладывается сила примерно равен диаметру обрабатываемой фрезы.

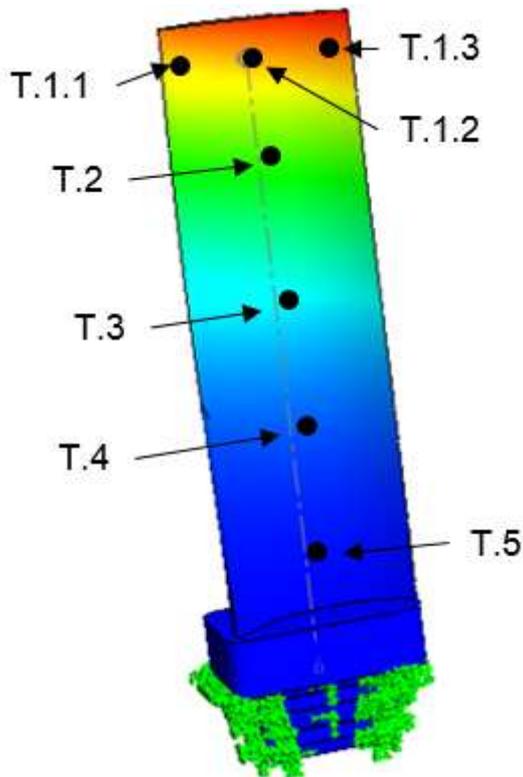


Рисунок 2.8 - Расположение контрольных точек.

5. Определение параметров исследования. Задать тип нагрузки, значение нагрузки близкое к реальному.

6. Исследование для чистовой обработки.

Последовательно прикладывая заданную силу в выбранные точки относительно осей обработки, в данном случае ось Y и ось Z, находим перемещение (деформацию) поверхности с учетом приложенной силы.

Ниже приведены изображения исследований, на которых показана информация о значении перемещений детали относительно начального положения, обозначена ось и точка приложения силы.

Имя модели: Лопатка  
Название исследования: Направление у, т.1.1(-По умолчанию-)  
Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 1882.72

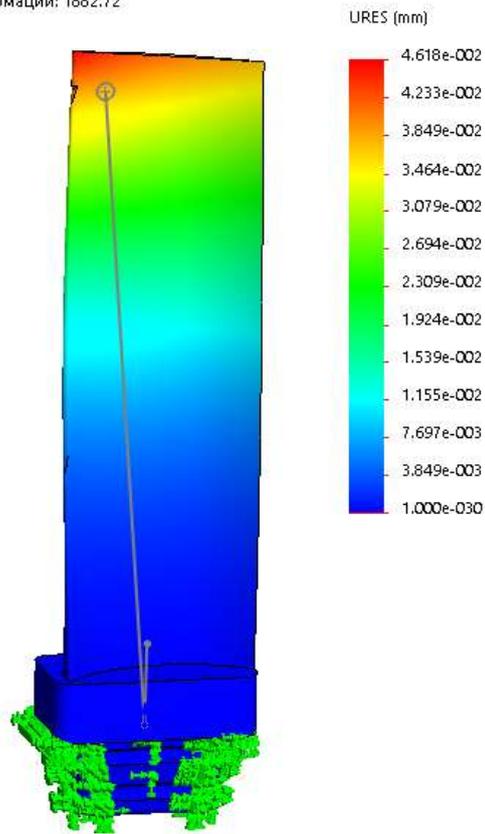


Рисунок 2.9 – Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 1.1.

Имя модели: Лопатка  
Название исследования: Направление у, т.1(-По умолчанию-)  
Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 1894.66

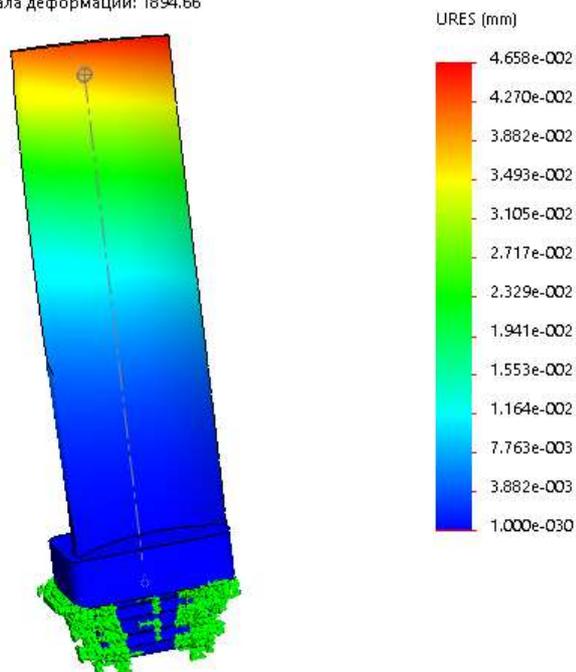


Рисунок 2.10 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 1.

Имя модели: Лопатка  
Название исследования: Направление y, т.1.3(-По умолчанию-)  
Тип эюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 1221.31

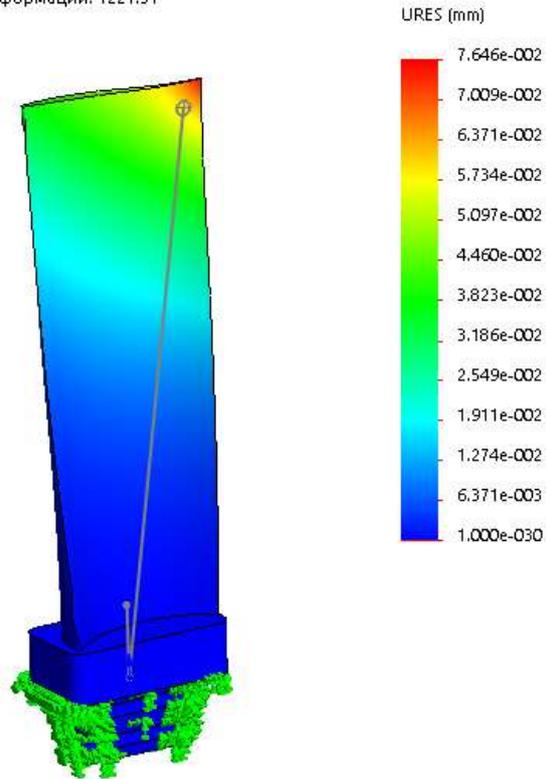


Рисунок 2.11 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 1.3.

Имя модели: Лопатка  
Название исследования: Направление y, т.2(-По умолчанию-)  
Тип эюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 3204.06

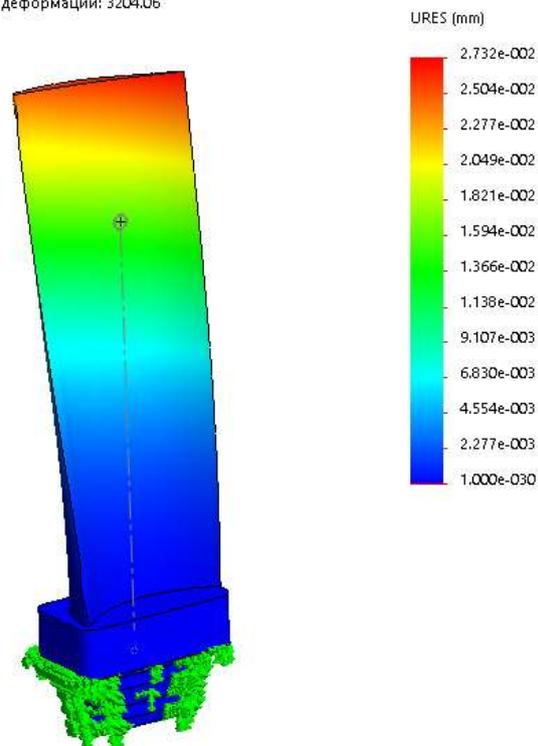


Рисунок 2.12 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 2.

Имя модели: Лопатка  
Название исследования: Направление у, т.3(-По умолчанию-)  
Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 6639,5

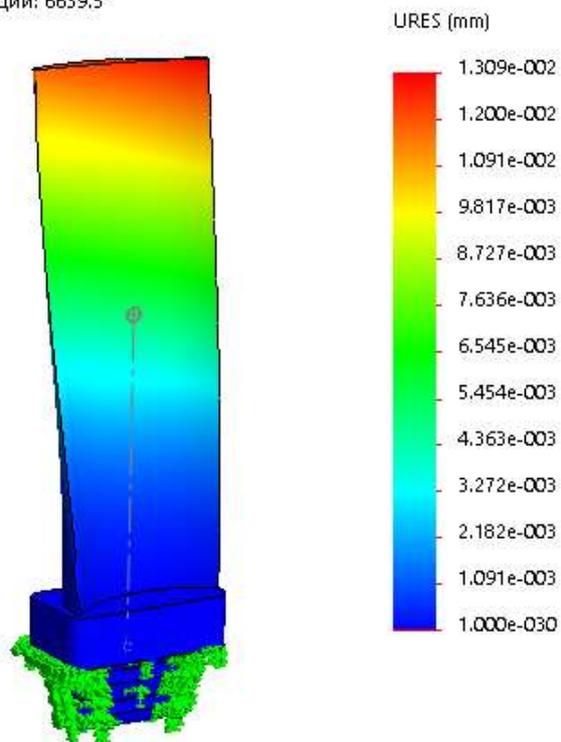


Рисунок 2.13 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 3.

Имя модели: Лопатка  
Название исследования: Направление у, т.5(-По умолчанию-)  
Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 106217

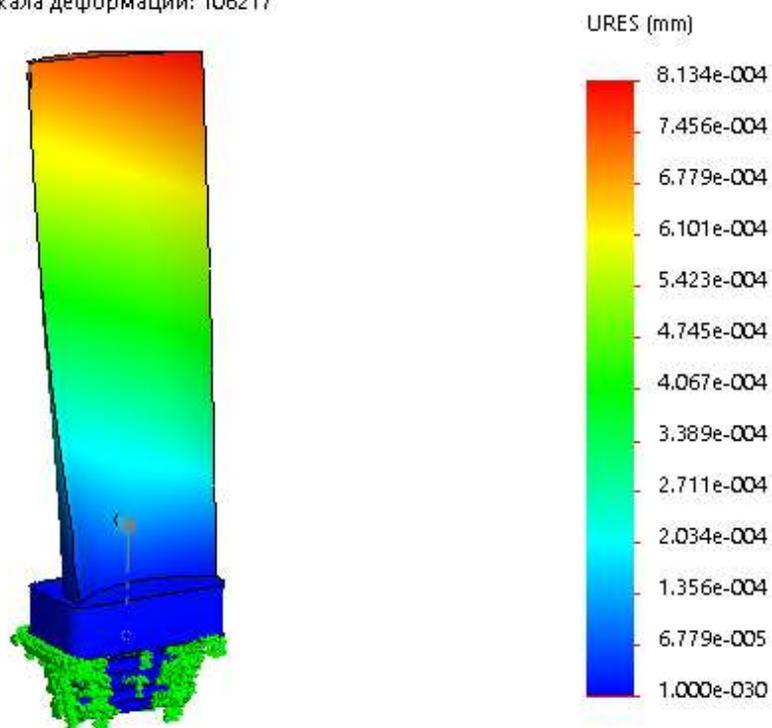


Рисунок 2.14 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 5.

Далее производим такой же анализ только прикладывая нагрузку на ось Z.

Для черновой обработки построена модель имитации заготовки для обработки детали. В ходе обработки удаляется часть материала и также проводятся исследования как описано выше при чистовой обработке, используя такие же контрольные точки (Рисунок 2.8). Ниже приведены изображения исследований при черновой обработке также с приложением силы по оси Y.

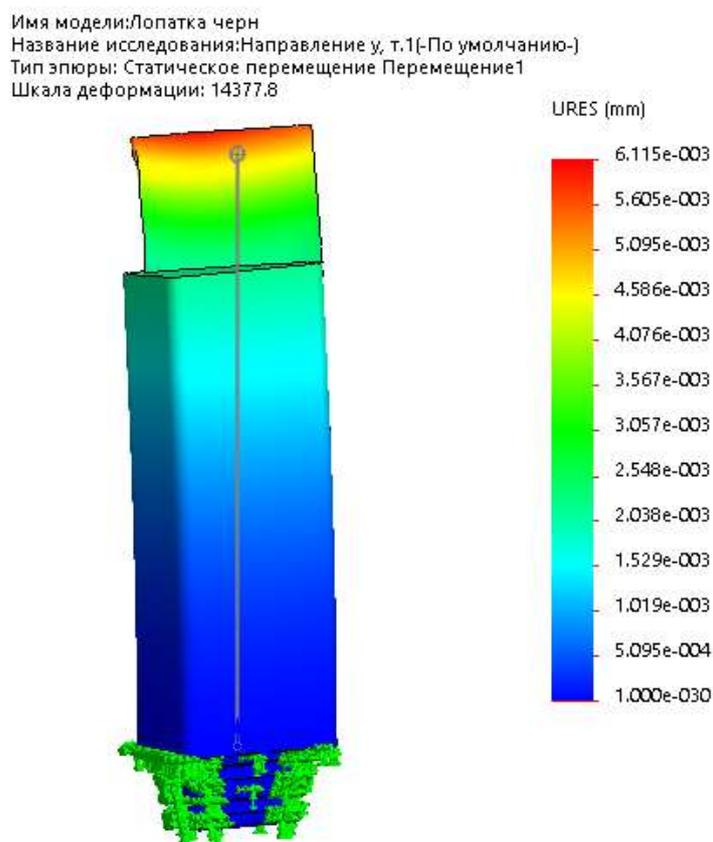


Рисунок 2.15 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 1.

Имя модели: Лопатка черн  
Название исследования: Направление y, т.2(-По умолчанию-)  
Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 30190.4

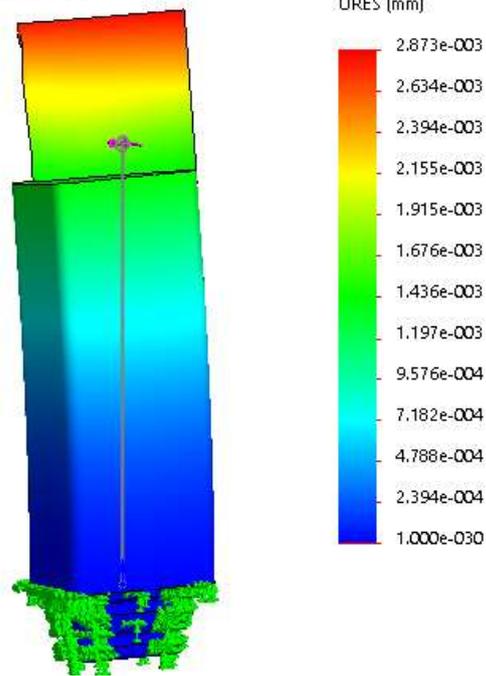


Рисунок 2.16 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 2.

Имя модели: Лопатка черн  
Название исследования: Направление y, т.3(-По умолчанию-)  
Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 42496.1

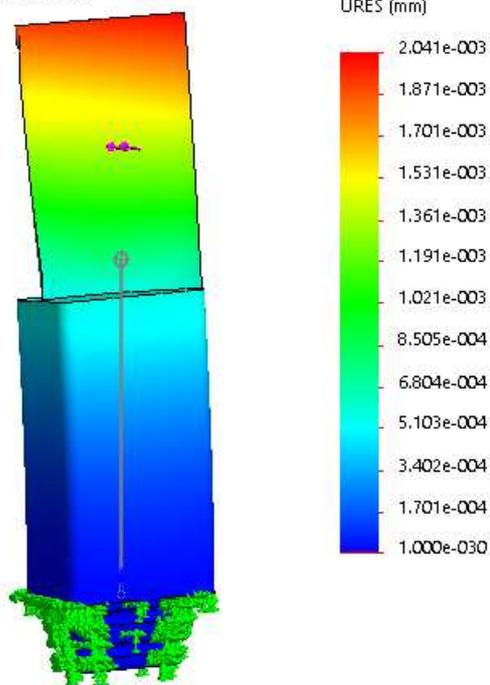


Рисунок 2.17 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 3.

Имя модели: Лопатка черн  
Название исследования: Направление у, т.4(-По умолчанию-)  
Тип эпоры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 73602.9

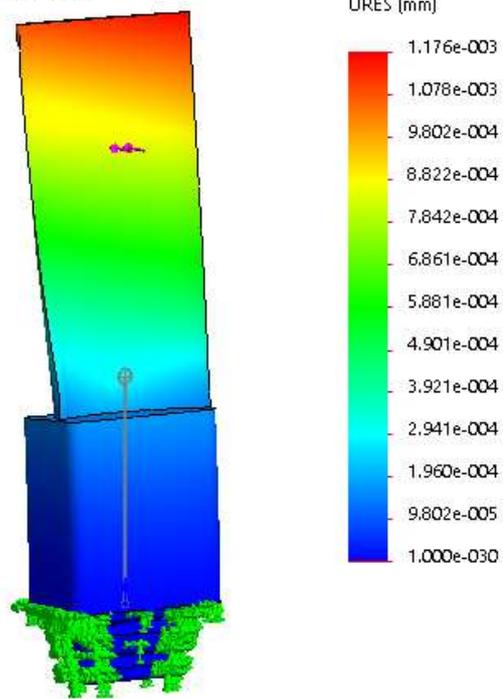


Рисунок 2.18 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 4.

Имя модели: Лопатка черн  
Название исследования: Направление у, т.5(-По умолчанию-)  
Тип эпоры: Статическое перемещение Перемещение1  
Шкала деформации: 159388

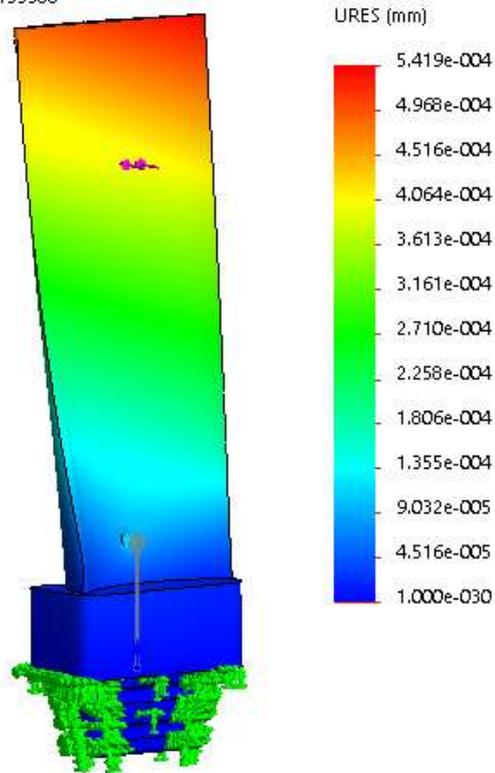


Рисунок 2.19 - Деформация при нагрузке вдоль оси Y, в точке 5.

Зная жесткость детали в разных точках, можно составить карту жесткостей и приспособить программу так, чтобы при моделировании обработки учитывалась жесткость и подбиралась частота обработки.

7. Приведение результатов в таблицу. Анализ полученных данных.

В таблице 2.4 приведены результаты исследования перемещения поверхности обрабатываемой детали при нагрузке для чистовой обработки и черновой.

Таблица 2.4 - Перемещение поверхности при обработке

Обозначение точек	Вид обработки			
	Черновая		Чистовая	
	Перемещение мм 10-3			
	у	z	у	z
Т 1.1	38	7.3	4.6	1.6
Т 1.2 (1)	35	8.03	6	1.8
Т 1.3	57	26	14	6
Т 1	35	8.03	6	1.8
Т 2	16	4	1.6	0.6
Т 3	5	1	0.7	0.3
Т 4	1.2	0.3	0.15	0.28
Т 5	0.2	0.1	0.12	0.06

Анализируя полученные результаты видно, что в разных точках обработки детали податливость обрабатываемой детали будет разная. Также на жесткость детали влияет вид обработки. Разность перемещений от осей происходит за счёт формы детали, нагрузка по оси Y значительно больше нагрузки по оси Z.

Исследования в среде моделирования SolidWorks Simulation осуществляется с помощью метода конечных элементов. Модель разбивается на множество элементов, получается сетка рисунок 2.20.

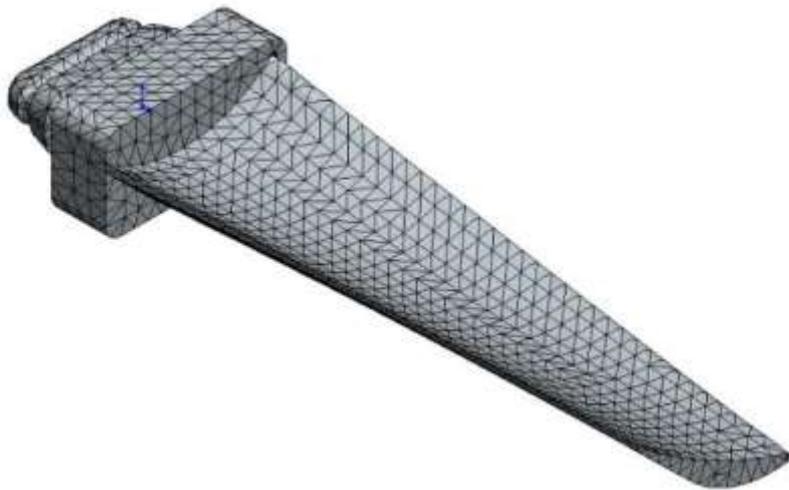


Рисунок 2.20 - Конечно-элементная сетка исследуемой лопасти.

Механическое поведение каждого элемента выражается с помощью конечного числа степеней свободы или значений искомых функций во множестве узловых точек. Поведение математической модели, таким образом, аппроксимируется поведением дискретной модели.

### **2.3 Исследование математической модели процесса обработки тонкостенной детали**

Для управления режимами обработки в реальном времени нужно знать параметры системы в ходе текущего времени. В данной системе жёсткость не линейна и в зависимости от продолжительности времени силы действующие на деталь переменны и имеют не прямую зависимость, также перемещения детали, колебания в разных точках поверхности – разные. Исследование перемещений обрабатываемой детали в реальном времени покажет на сколько сильно отклоняется при обработке поверхность лопасти (детали) относительно начального положения.

Для математического моделирования процесса обработки лопатки турбин в начале нужно:

- подобрать материал;
- подобрать фрезу;
- режимы резания.

Выбор материала был приведён в разделе 2.1.

### Подбор параметров обработки

Режимы резания для сплавов титана и сплава ВТ8 были подобраны опираясь на источники [37, 38, 39, 40, 41, 42].

Для исследования влияния механической обработки используют по режимы резания:  $V = 30 - 100$  м/мин,  $s = 0,05 \div 0,2$  мм/об. Глубина резания  $t = 1-1,3$  мм. В качестве режущего инструмента была подобрана концевая фреза с круглыми сменными многогранными твердосплавными пластинами RF01..-Т.

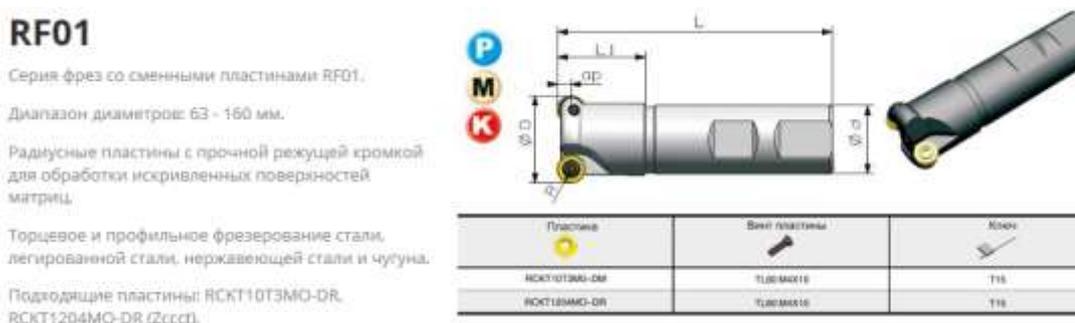


Рисунок 2.21 - Концевая фреза с круглыми сменными многогранными твердосплавными пластинами.

Для расчёта технологических параметров во времени использовалась программа на языке Си с доработкой под данную тему и выбранную модель. Результат расчёта выводится в формате «txt» массивом чисел из четырнадцати столбцов и одного миллиона строк. Вычисления проводятся для интервала времени от нуля до одной секунды обработки, с периодом времени в одну миллионную секунды. Начальные данные приведены в таблице.

Таблица 2.5 – Заданные параметры.

Заданные параметры в программе	Единицы измерения	Параметр
$t_{max} = 1.0000$	с	Время расчёта
$dt = 0.00000100$	с	Интервал периода времени
$\omega_{cutter} = 35.6700$	Рад/с	Скорость вращения фрезы
$s_z = 0.02$	мм	Подача на зуб

Таблица 2.5 – Заданные параметры.

Заданные параметры в программе	Единицы измерения	Параметр
cutter_diameter = 0.03	м	Диаметр фрезы
depth_of_cut = 0.0001	м	Глубина резание
number_of_cutting_line = 3		Число зубьев инструмента
cutting_tooth_in_line = 1		Число зубьев в ряду
mass_1 = 524		Масса инструмента
mass_3 = 890		Масса опоры детали
alpha_01_x = 100000	м <sup>2</sup> /с	Вязкость опоры инструмента
alpha_01_y = 100000	м <sup>2</sup> /с	Вязкость опоры инструмента
alpha_12_x = 100000	м <sup>2</sup> /с	Вязкость материала детали
alpha_12_y = 100000	м <sup>2</sup> /с	Вязкость материала детали
alpha_30_x = 100000	м <sup>2</sup> /с	Вязкость опоры детали
alpha_30_y = 100000	м <sup>2</sup> /с	Вязкость опоры детали
ridigity_01_x = 2000000000	Н/м	Жесткость опоры инструмента
ridigity_01_y = 2000000000	Н/м	Жесткость опоры инструмента
ridigity_30_x = 2000000000	Н/м	Жесткость опоры детали
ridigity_30_y = 2000000000	Н/м	Жесткость опоры детали
young_modulus = 120000000000		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

После обработки начальных данных, программа генерирует результаты массивом чисел.

В ходе обработки, энергия силы резания распределяется на: деформирование детали, отделение стружки от детали, трение. Через удельную силу резания, находим фактическую силу резания. Для определения программой текущей глубины резания построим график удельной силы

резания от толщины стружки. По графику мы видим, что с увеличением стружки удельная сила резания падает.

График зависимости удельной силы резания от толщины стружки приведена на рисунке 2.22.

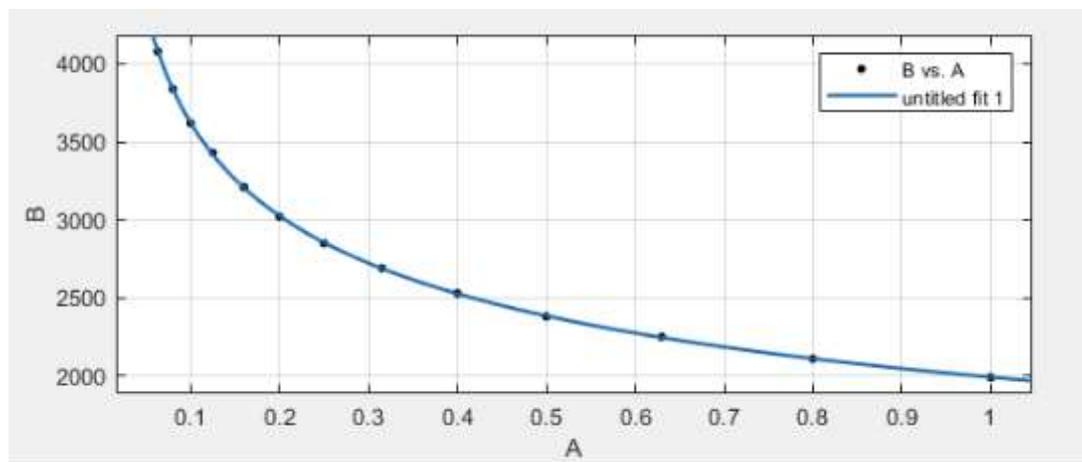


Рисунок 2.22 – Зависимость удельной силы резания от толщины стружки.

## 2.4 Считывание данных с помощью MATLAB

1.

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.

Результат расчёта выводится в формате «txt» массивом чисел из четырнадцати столбцов и одного миллиона строк. Для анализа и обработки полученных данных нужно использовать дополнительную программу. С помощью программы MATLAB массив значений распознается как массив с заданными позициями, следовательно, можно разделить массив на столбики. Значение каждого столбика приведено в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Распределение столбцов по технологическим параметрам.

Номер столбца	Единица измерения	Параметр	Обозначение
1	сек	Время	t
2	мм	Перемещения колебаний фрезы по оси X	x1

Таблица 2.6 – Распределение столбцов по технологическим параметрам.

Номер столбца	Единица измерения	Параметр	Обозначение
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

Код программы для распознавания массива приведен в приложении А.

Распознав массив с конкретными позициями можно строить зависимости параметров системы обработки лопасти с помощью программы MATLAB.

## **2.5 Анализ поведения технологических характеристик во времени при разной частоте резания**

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

Во время обработки тонкостенной детали она совершает колебания собственные и вынужденные. Так как деталь тонкостенная, колебания значительные и существенно влияют на качество обработки. Когда резец врезается в деталь происходят одни колебания, после выхода резца другие и при подходе резца в следующий раз деталь может значительно отклоняться от начальной, нулевой точки в которую подходит резец. Поэтому важно найти такую частоту колебаний, которая позволяет детали к моменту подхода резца быть в начальной точке. Для нахождения такой частоты колебаний следует подобрать подходящую частоту резания, для этого нужно менять угловую скорость фрезы  $\omega_{\text{cutter}}$  [рад/с], чтобы скорость резания изменялась в диапазоне от 25 м/мин до 70 м/мин.

Для удобства построения графиков за переменную была взята скорость резания в м/мин, в приложении Б приведен перевод из скорости резания в частоту резания (Гц) и угловую скорость фрезы (Рад/с).

Для наглядного отображения важных технологических параметров системы нужно построить графики зависимости деформации детали от времени также деформации фрезы в зависимости от времени – эта зависимость показывает врезание резца в деталь, чтобы было видно в какой момент времени резец входит в деталь, а в какой выходит также деформацию стола.

Важным параметром наблюдения является толщина стружки, снимаемая в ходе обработки в зависимости от времени. Так как деталь

отклоняется при врезании резца в неё, толщина стружки может быть везде разная. Деталь может отклоняться как навстречу резцу, так и от него. Нужно подобрать режим, где толщина стружки будет одинаковая на всём этапе обработки и близка к заданной, а это вероятней всего реализовать, когда при подходе резца деталь будет подходить в начальное положение, что описано выше. Также будет показан график зависимости силы резания от времени.

Графики лучше всего рассматривать в совокупности, тогда будет видно причины нестабильности системы.

В начале были исследованы графики зависимостей параметров от времени со скоростью фрезы в диапазоне от 25 м/мин до 70 м/мин с шагом в 5 м/мин. Далее по графикам были выбраны наиболее удачные участки скоростей и снова построены графики для выбранных участков времени, но уже с шагом в 1 м/мин. Далее также подбирая наиболее удачный участок из представленных теперь графиков, исследовался участок, но уже с меньшим шагом.

В приложении Б приведены значения скоростей и частот, по которым строились графики. Сами графики приведены в приложении В.

Подходящая скорость резания будет та, при которой толщина стружки после выравнивания системы будет одинаковая с учётом времени, при подходе резца деталь должна возвращаться в начальное положение.

На рисунке ниже представлена часть графика при скорости резания 52 м/мин как показано на рисунке ниже. График вверху это зависимость перемещения детали относительно нулевой точки в зависимости от времени, ниже располагается график зависимости перемещения резца от времени. Синими линиями на рисунке обозначен момент врезания резца в деталь.

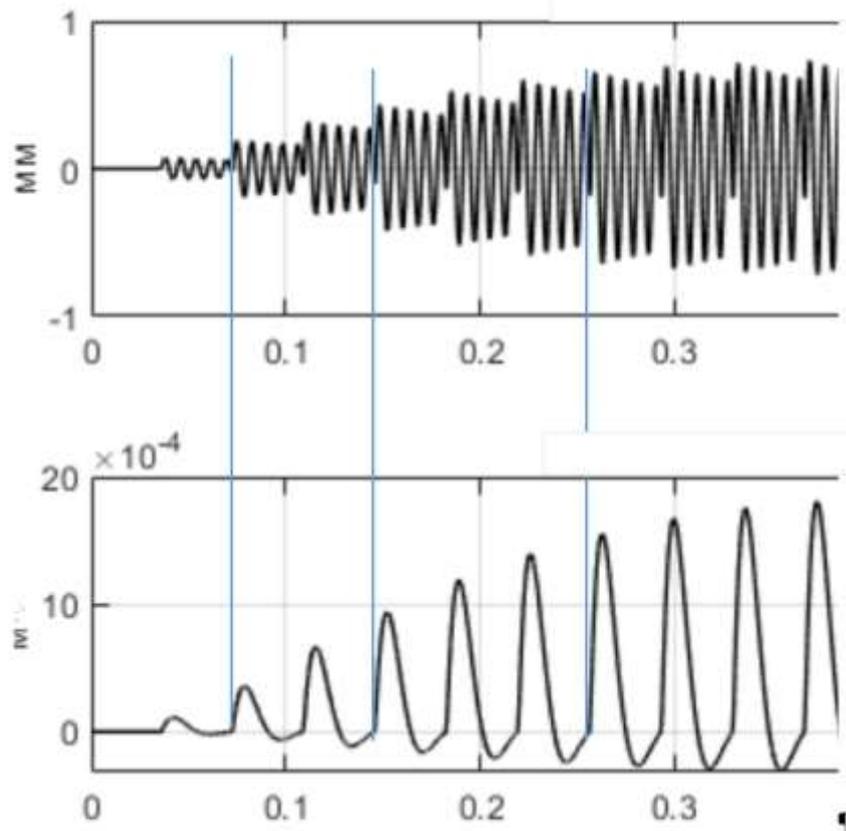


Рисунок 2.23 – Часть графика при скорости резания 52 м/мин.

Глядя на график зависимости перемещения детали относительно нулевой точки в зависимости от времени (график в верхней части рисунка) можно видеть, что деталь заходит на резец до его подхода в нулевую точку.

На рисунке видно отклонение детали относительно нулевой точки, т.е. в нулевой точку деталь приходит раньше, чем резец, и деталь заходит на него, тем самым снимая больший слой стружки.

Все графики зависимости рассматриваемых параметров для скорости резания 52 м/мин приведены ниже.

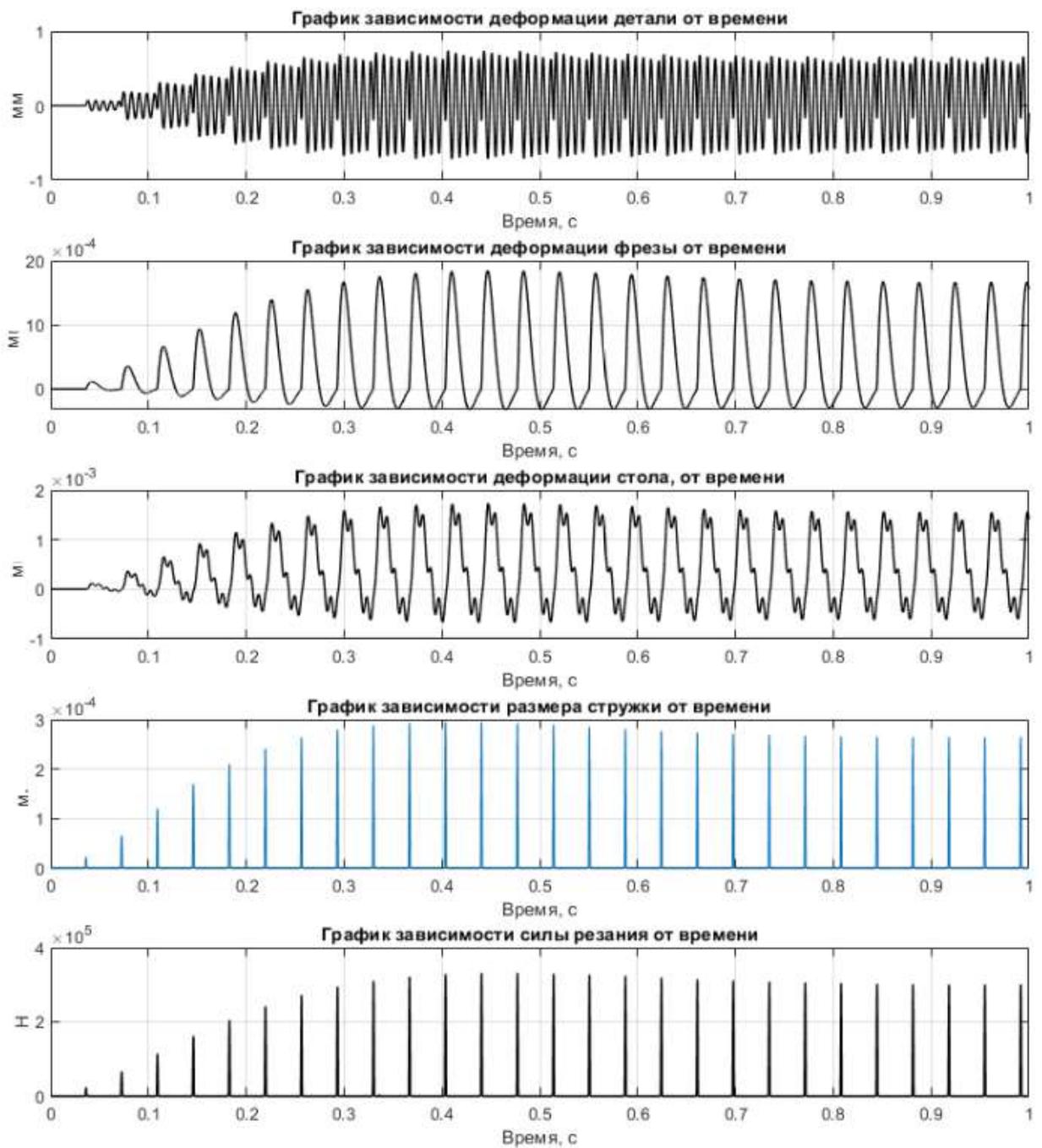


Рисунок 2.24 – График зависимостей технологических параметров от времени при скорости резания 52 м/мин.

Для сравнения рассмотрим часть графика со скоростью резания 30 м/мин, рисунок 2.25.

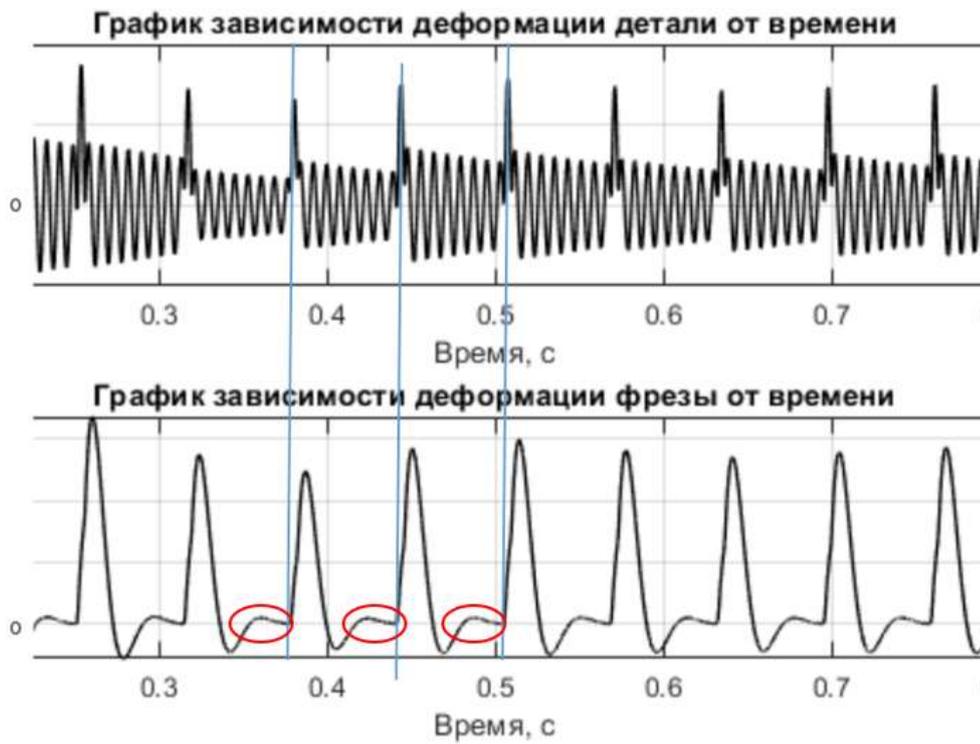


Рисунок 2.25 – Часть графика при скорости резания 30 м/мин.

В отличие от графика со скоростью 52 м/мин на этом графике наоборот деталь не доходит до нулевой точки, в то время как резец подошёл в заданное положение. Деталь отклоняется от начального положения, не доходит до нулевой точки, как следствие толщина среза будет меньше заданной.

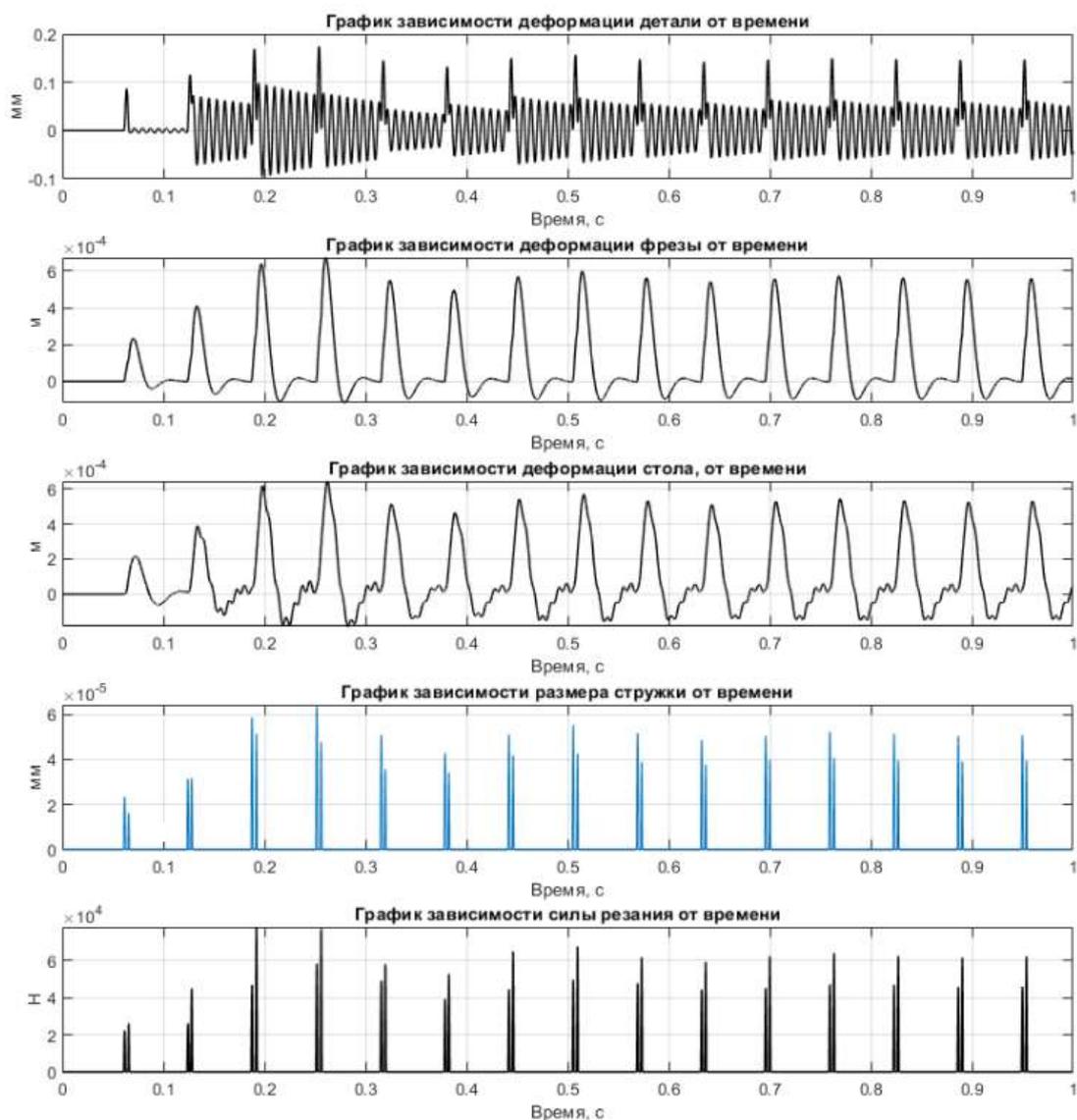


Рисунок 2.26 – График зависимостей технологических параметров от времени при скорости резания 30 м/мин.

Анализируя все рассматриваемые характеристики графиков при скорости 30 м/мин видно, что толщина стружки различается на входе резца деталь на одном расстоянии от нулевой точки, при выходе расстояние другое, от этого толщина стружки «скачет», как следствие обрабатываемая поверхность будет буграми. Сила резания при срезании большей толщины стружки меньше. Наблюдая график деформации стола от времени видно, что система испытывает дополнительные колебания.

Как и предполагалось, если сравнить графики зависимостей толщины стружки от времени при скоростях 30 м/мин и 52 м/мин (представленных

выше) видно, как отличается толщина стружки. При скорости резания 30 м/мин толщина стружки почти в два раза меньше заданной. При скорости резания 52 м/мин толщина стружки почти в три раза превышает заданную.

Рассмотрим график зависимости технологических параметров обработки во времени при скорости резания 58,5 м/мин.

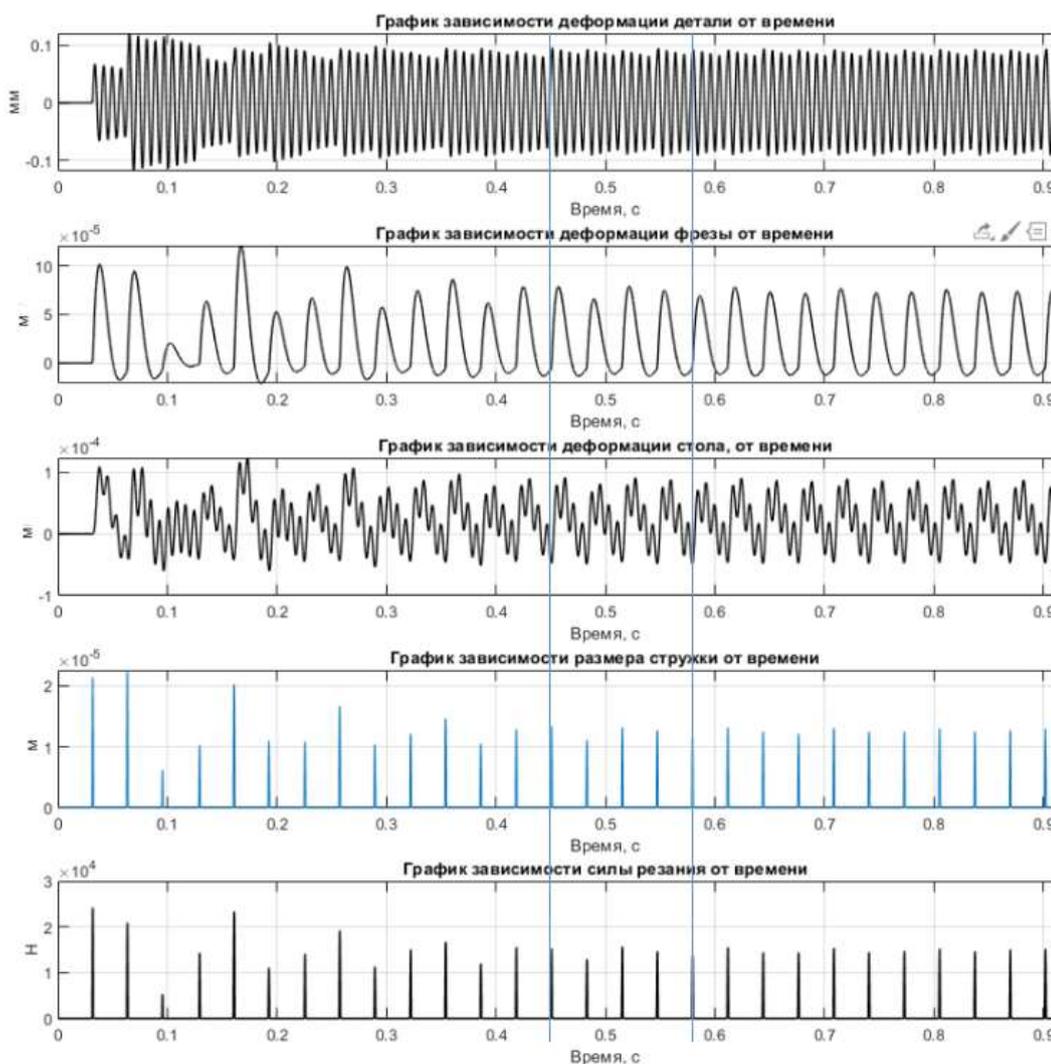


Рисунок 2.27 – График зависимостей технологических параметров от времени при скорости резания 30 м/мин.

Как видно по графику, во время подхода резца, деталь отклоняется почти в максимальное положение, в следствии чего, снимаемая толщина стружки значительно меньше заданной, средняя снимаемая толщина стружки 0,012мм. Хоть толщина в зависимости от времени не сильно отличается и всё происходит более-менее плавно, но скорость резания неудачная для данной системы, так как обработка почти не происходит.

Анализируя графики, сужая шаг рассмотрения скоростей резания подбирается лучшая скорость резания.

После построения и анализа всех графиков, приведенных в приложении В, найден наилучший вариант скорости и частоты резания обработки тонкостенной детали при заданных условиях: скорость резания 52,4 м/мин, частота резания 27,81. График с технологическими параметрами при скорости резания 52,4 м/мин приведён ниже.

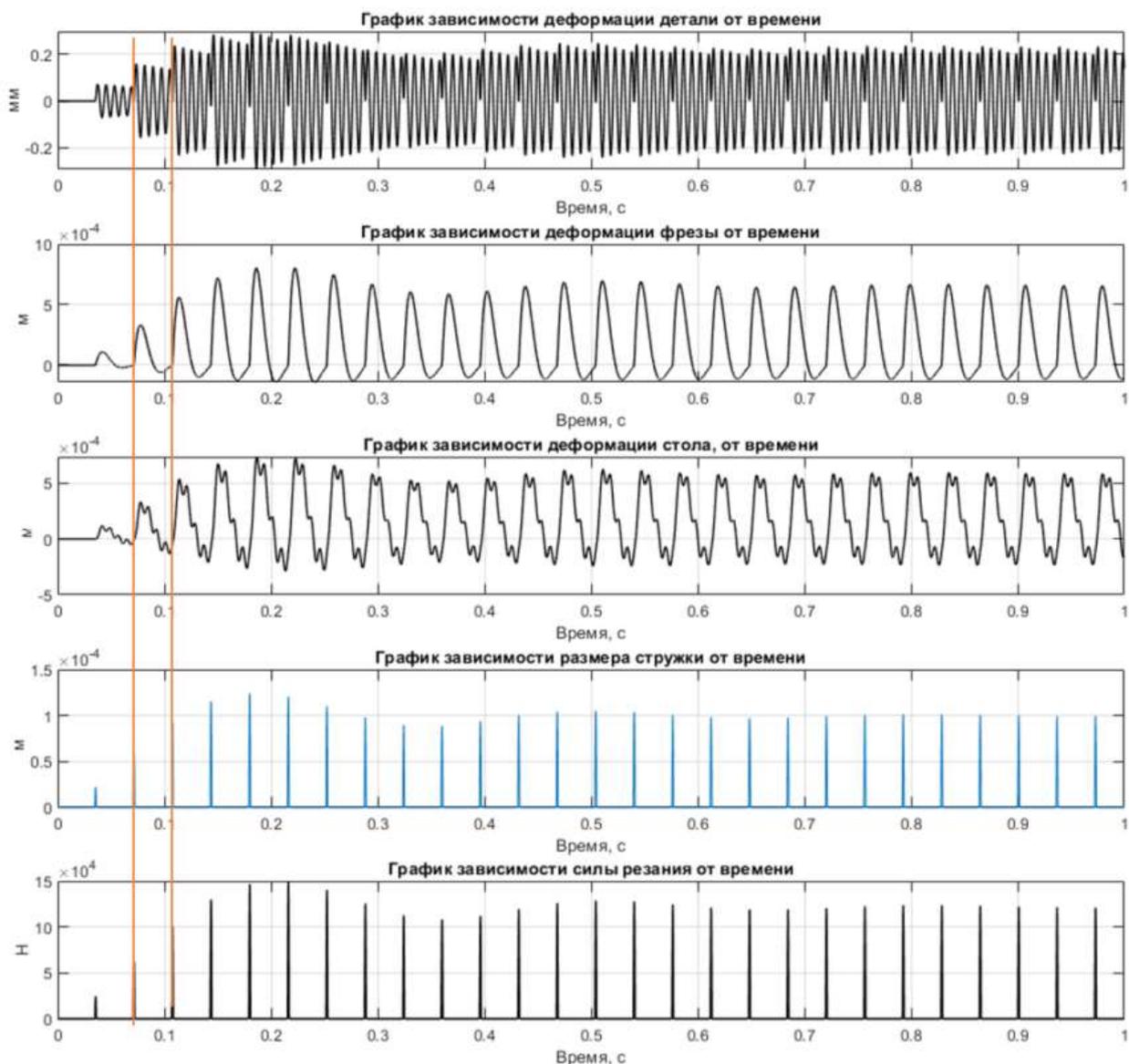


Рисунок 2.28 – Графики зависимостей технологических параметров с учётом времени при скорости резания 52,4 м/мин, частоте резания 27,81.

После шести десятых секунды система выравнивается. По графикам видно, что во время врезания резца в деталь, деталь приходит в ноль, а значит

находится в начальном положении. Перемещение фрезы плавное. Толщина стружки после выравнивания одинаковая и совпадает с заданным значением. Перемещение фрезы плавное и циклическое.

Наихудший вариант обработки будет, когда частота резания совпадёт с частотой инструмента, тогда инструмент и деталь попадут в резонанс. В данной работе при заданных параметрах такой частоты в реальности достичь невозможно. Но для наглядности я построила графики исследуемых характеристик при резонансе, ниже представлен рисунок.

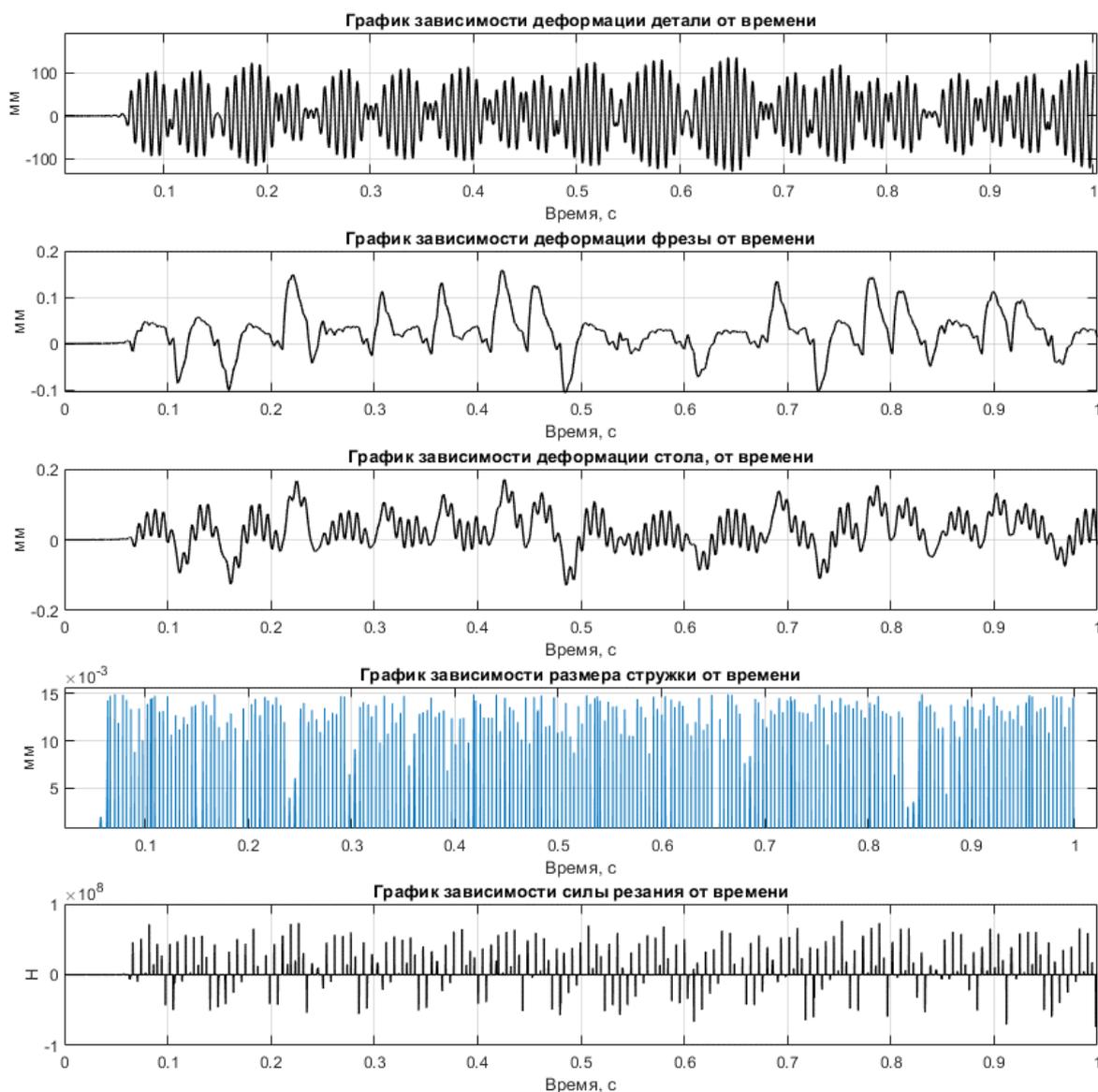


Рисунок 2.29 - Графики зависимостей технологических параметров с учётом времени при резонансе.

Во-первых, колебания детали слишком велики по сравнению с другими режимами, врезание резца в деталь не плавное и не стабильное. По графику видно, что резец снимает стружку не равномерно, что деталь колеблется и толщина стружки значительно разная, сила резания распределяется не равномерно.

Чтобы наблюдать зависимость толщины стружки при обработке от частоты резания, перемещение детали при обработке в зависимости от частоты резания, силы резания от частоты резания, были построены следующие графики (код программы для построения графиков зависимости технологических параметров от частоты резания приведен в приложении Г):

1) График зависимостей максимального, минимального и среднего перемещения детали относительно нулевой точки в зависимости от частоты резания после выравнивания.

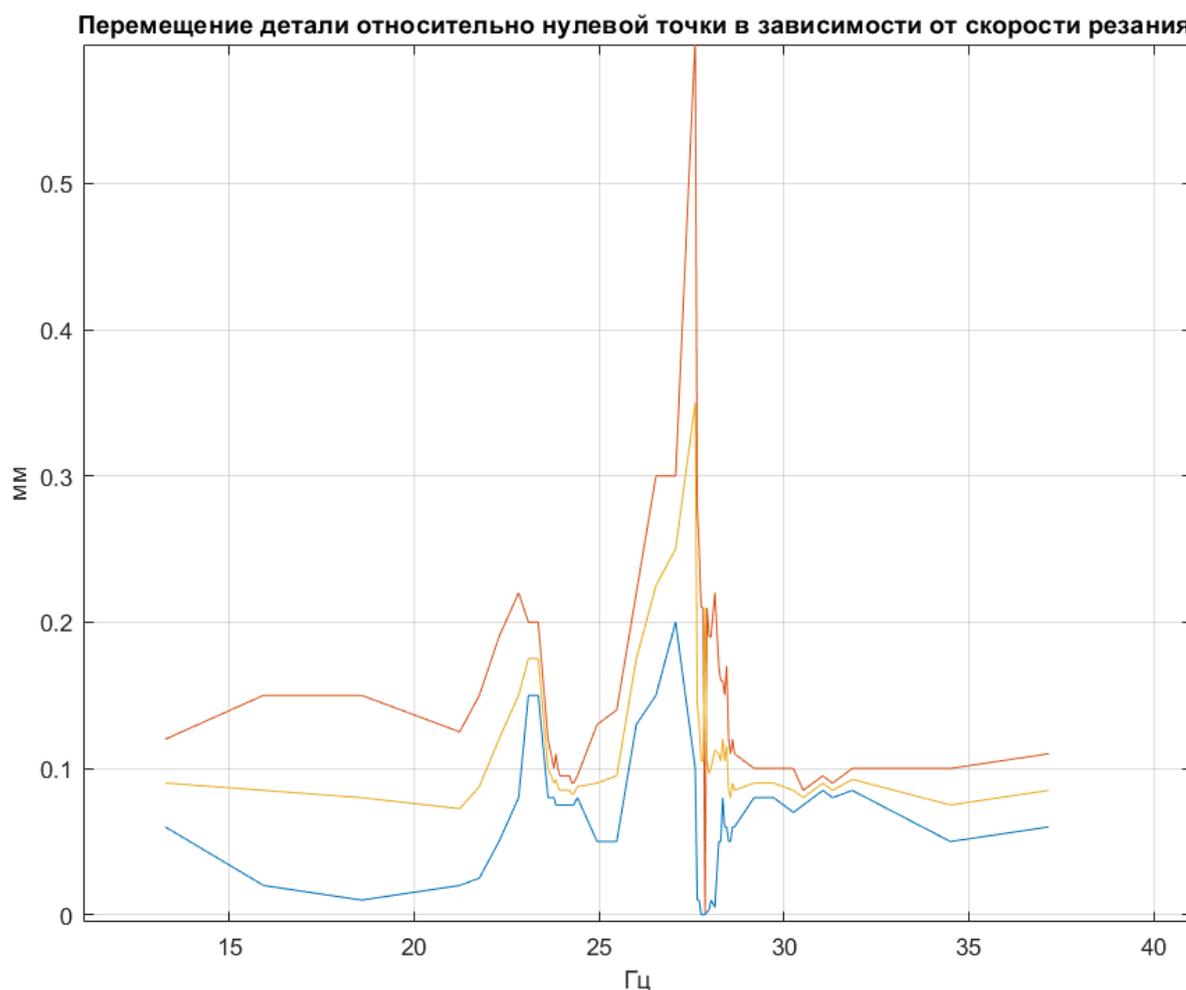


Рисунок 2.30 - Графики зависимости перемещения детали от частоты.

Красной линией на графике показаны максимальные значения перемещений детали, желтым- среднее значение, синим – минимальное значение. По графику видно как меняется колебание детали в зависимости от частоты резания.

2) График зависимостей максимальной, минимальной и средней толщины стружки в зависимости от частоты резания после выравнивания. Также на графике показана заданная толщина стружки.

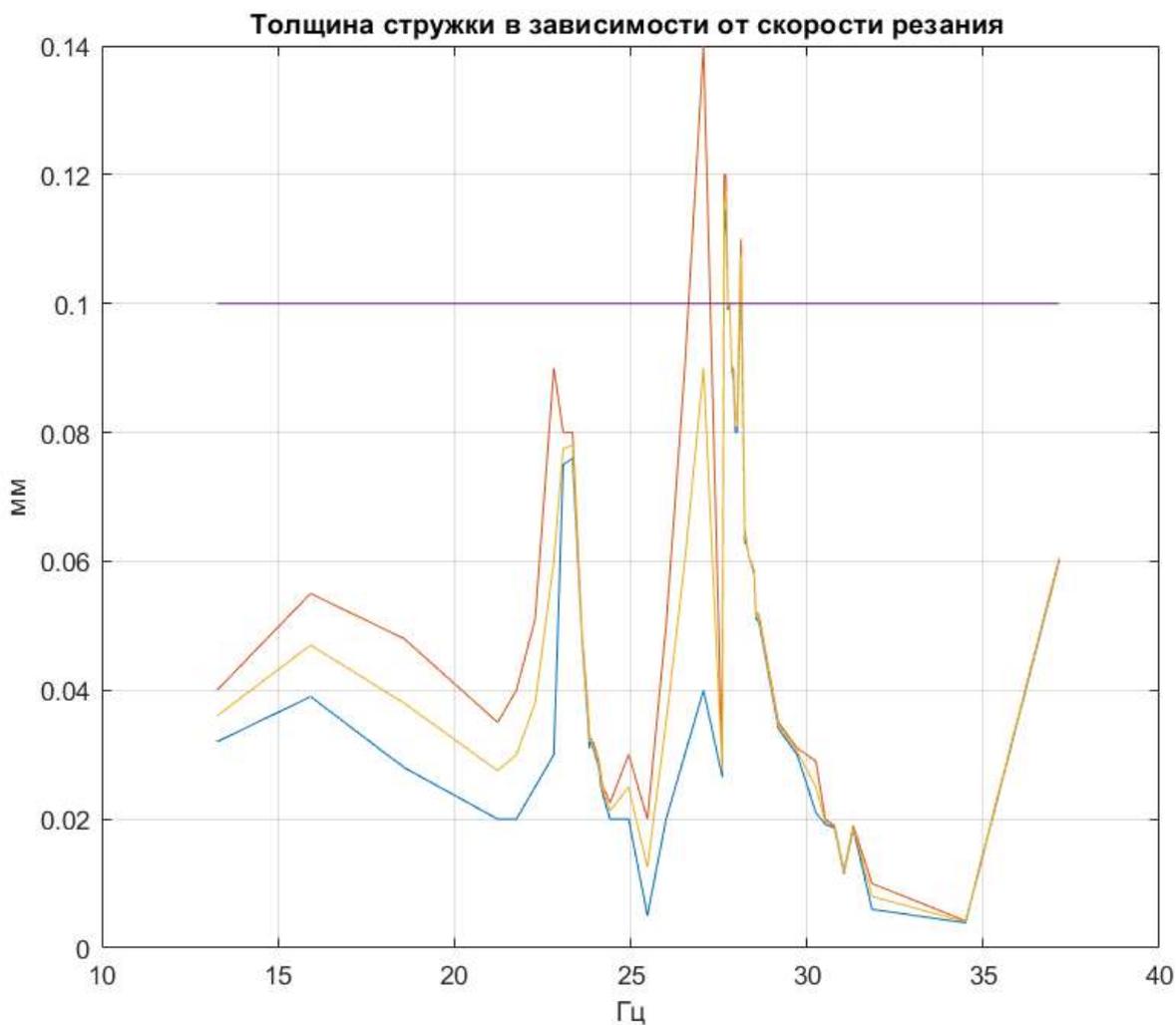


Рисунок 2.31 - Графики зависимости толщины стружки от частоты.

Красной линией на графике показаны максимальные значения перемещений детали, желтым- среднее значение, синим – минимальное значение, фиолетовым цветом показана заданная толщина стружки.

По представленному графику можно сравнить рассмотренные ранее скорости резания 30 м/мин и 52 м/мин с частотами резания 15,92 и 27,60 соответственно.

Наилучшая частота резания будет там, где разница минимальной, средней и максимальной толщины стружки будет наименьшая и сходиться к заданной. По графику видно какой толщины слой будет сниматься с обрабатываемой детали. Также мы можем убедиться, выбранная мною ранее частота резания действительно наиболее удачная.

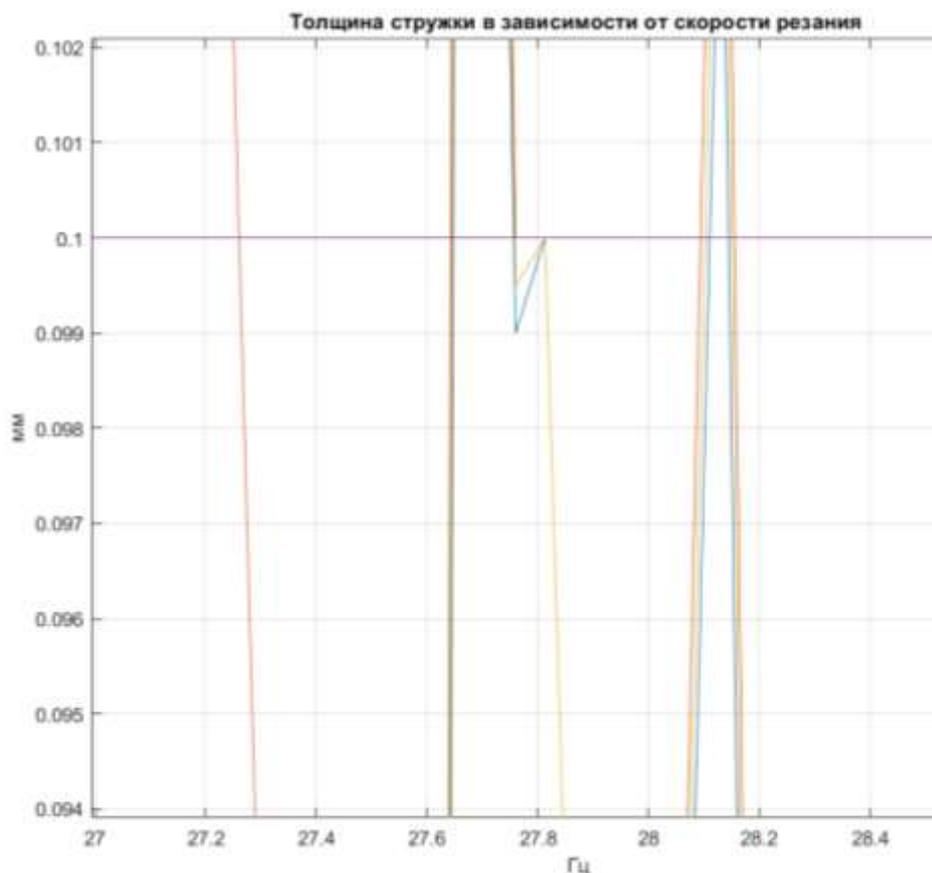


Рисунок 2.32 – Увеличенный график зависимости толщины стружки от частоты.

3) График зависимости максимальной, минимальной и средней силы резания в зависимости от частоты резания после выравнивания.

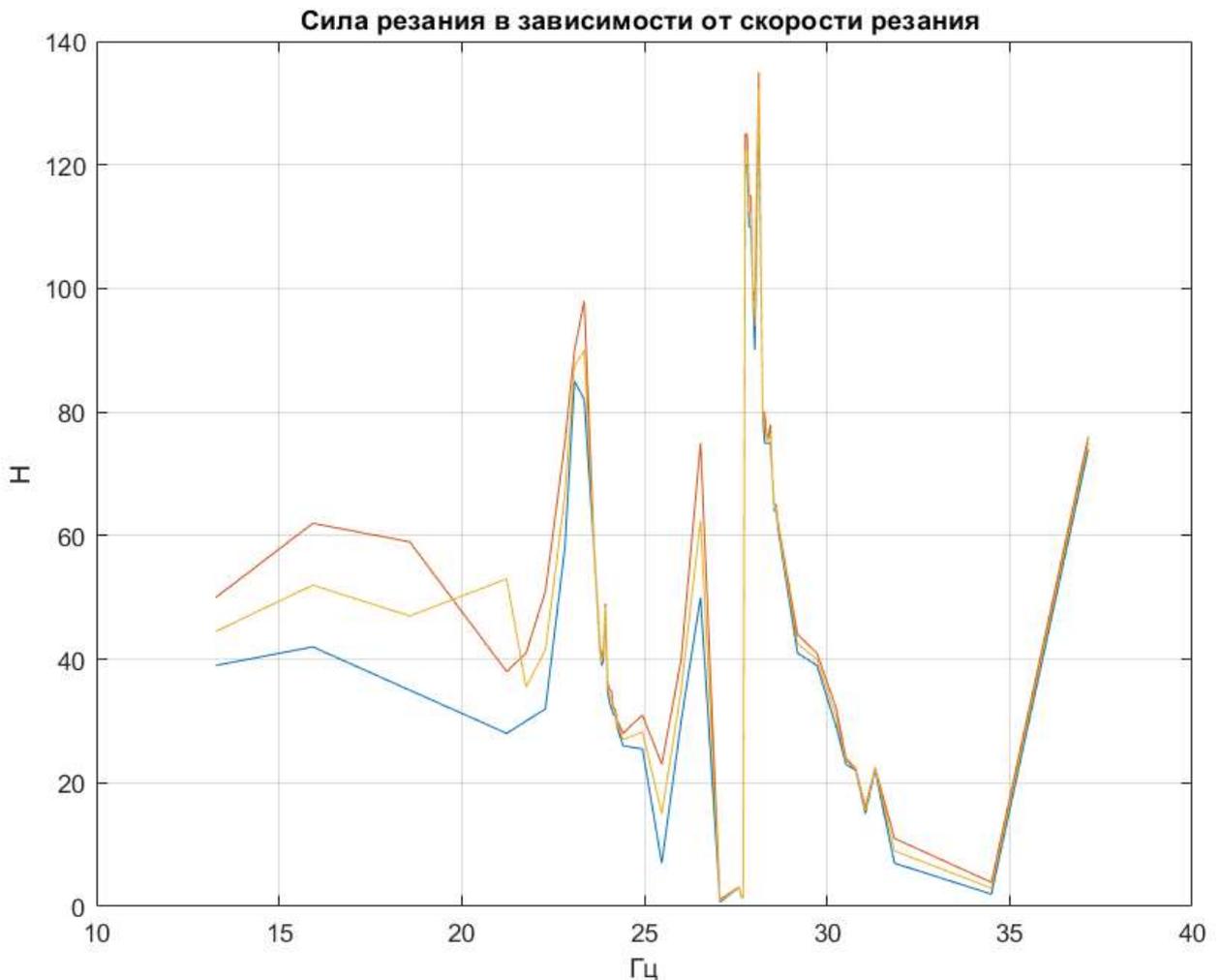


Рисунок 2.33 – График зависимости силы резания от частоты.

Красной линией на графике показаны максимальные значения перемещений детали, желтым- среднее значение, синим – минимальное значение.

### Заключение раздела

По графикам зависимостей технологических параметров от частоты видно, что нет прямой зависимости технологических параметров от частоты и вообще не прослеживается зависимость. При близких значениях частоты резания технологические параметры могут значительно отличаться и по-разному влиять на обработку. Следовательно, предугадать поведение системы заранее без анализа достаточно сложно и решать подобные задачи линейно, рассматривая деталь как жесткую будет не верно.

Проведя исследование можно сделать вывод что существует возможность за счёт частоты резания влиять на точность обработки и качество поверхностного слоя. Также можно отслеживать неблагоприятные моменты обработки и выявить причину. На данный момент построение графиков, выбор наилучшего параметра и анализ занимают большое количество времени, в дальнейшем можно усовершенствовать данную возможность под автоматический подбор технологического параметра. Когда эта задача будет решена, можно задуматься над созданием и внедрением программы в станок с ЧПУ, с помощью которой станок сможет автоматически подбирать и устанавливать частоту резания, предугадывая колебания тонкостенной детали в режиме реального времени.

### 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 теоритическая 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**

### **3.2.1 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 3.1.

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 технических 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
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
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
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
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
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>3</b>	<b>3,3</b>	<b>3,5</b>

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

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3; \quad (3.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – 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 ВЗ превосходит другие варианты.

### **3.2.2 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><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Уникальность технологии.</p> <p>С3. Компьютерная реализация модели</p> <p>С4. Возможность мониторинга параметров обработки в режиме реального времени.</p> <p>С5. Более высокая точность обработки по сравнению с другими технологиями</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл4. Отсутствие возможности проверки адекватности метода практически.</p> <p>Сл5. Узкая направленность на определенную группу изделий</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Возможность перехода производств на новые технологии</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>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</p> <p>В2Сл2Сл3 – Повышение квалификации кадров у потребителя внедрение системы в производство</p> <p>В3Сл5 – Приобретение необходимого оборудования опытного образца</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>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</p> <p>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 слабых сторон и угроз

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

### 3.2.3 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 3.7.

Таблица 3.7 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	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
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	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:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i ; \quad (3.2)$$

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 3.8.

Таблица 3.8 – Список производимых задач и работ и их исполнители

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Выбор направления исследований	1	Выбор направления исследований	Руководитель
Составление и утверждение технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Инженер
			Руководитель
	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 и	13	Оценка эффективности	Руководитель

оценка результатов		полученных результатов	Инженер
Разработка технической документации	14	Составление отчёта о проделанной работе с полным анализом результатов	Инженер
	15	Разработка презентации и раздаточного материала	Инженер

### 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  $t_{ожц}$  определяется по формуле:

$$t_{ожц} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макс}}{5}; \quad (3.3)$$

где  $t_{мини}$  – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{макс}$  – максимально возможное 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  $T_p$ :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожц}}{Ч_i}; \quad (3.4)$$

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

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 3.9.

### 3.2.3 Разработка графика проведения проектирования

Основная часть стоимости разработки проекта составляется 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:

$$k_{\text{калинж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,475 \quad (3.5)$$

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):

$$k_{\text{кал.рук.}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 53 - 14} = 1,224 \quad (3.6)$$

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

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5} \quad (3.7)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{мини}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{маxi}$  – 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  $T_p$ :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (3.8)$$

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot K_{кал} \quad (3.9)$$

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 3.9.

Таблица 3.9 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , 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	-	8	-	12	-	9,6	-	9,6	-	15

Таблица 3.9 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
времени										
Анализ графиков и подбор наилучших параметров обработки	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
Оценка эффективности полученных результатов	1	1	3	3	1,8	1,8	0,9	0,9	2	2
Составление отчёта о проделанной работе с полным анализом результатов	-	10	-	20	-	14	-	14	-	21
Разработка презентации и раздаточного материала	-	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5
	Итого:						8,1	67,7	12	107

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

На основе таблицы 3.9 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 3.10 – Календарный план-график проведения НИ

№ раб.	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																				
			ноябрь			декабрь			ян. в.	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																			■	■	
14	Инж.	21																				■	■
15	Инж.	5																					■

Таблица 3.11 – 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 3.12.

Таблица 3.12– 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 3.13.

Таблица 3.13– Цели и результат проекта

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

#### 3.3.1 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 амортизацию
- основная заработная плата исполнителей
- дополнительная заработная плата исполнителей темы
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)
- накладные расходы

### 3.3.2 Расчет амортизации

Для работы над проектом использовался ноутбук. Амортизацию рассчитаем линейным способом.

Первоначальная стоимость ПК 60000 рублей; срок полезного использования для машин офисных код 330.28.23.23 составляет 2-3 года, берем 3 года; планируется использовать ПК для написания работы в течение 6 месяцев. Тогда:

- месячная норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{12 \times 3} \times 100\% = 2,8\% \quad (3.10)$$

где  $n$  - количество месяцев полезного срока эксплуатации ОС.

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = 60000 \times 2,8 = 1\,680 \text{ рублей} \quad (3.11)$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 1680 \times 6 = 10080 \text{ рублей} \quad (3.12)$$

Таким образом, в материальные затраты необходимо включить сумму амортизации основных средств в сумме 10080 руб.

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

В расчет взяты затраты на канцелярские товары в размере 1500 рублей.

### 3.3.4 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  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p \quad (3.13)$$

где  $Z_{он}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.} \quad (3.14)$$

где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц;  $F_0$  – 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):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (3.15)$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (3.16)$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.} \quad (3.17)$$

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

Таблица 3.14 – 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 3.15 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{mc}$ , руб	$k_{np}$	$k_o$	$k_p$	$Z_m$ , 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

### 3.3.5 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 17393,1 = 2609 \text{ руб.}, \quad (3.18)$$

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 118007,9 = 17701,2 \text{ руб.}, \quad (3.19)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (17393,1 + 2609) = 6000,6 \text{ руб.} \quad (3.20)$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (118007,9 + 17701,2) = 40712,7 \text{ руб.} \quad (3.21)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – 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).

### 3.3.7 Накладные расходы

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

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}} = 214004,5 \cdot 0,2 = 42801 \text{ руб.}, \quad (3.22)$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 18.

Таблица 3.16 – Группировка затрат по статьям

Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
10080	1500	135401	20310,2	46713,3	214004,5	42800,9	256805,4

### 3.3.8 Определение ресурсоэффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (3.23)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

В качестве максимальной стоимости исполнения научно-исследовательского проекта принимается минимальный размер гранта на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые

молодыми учеными - кандидатами наук в научных организациях РФ, так как аналогичные научные исследования ранее не проводились.

$$I_{\text{финр}}^{\text{испн}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{256805,4}{2\,000\,000} = 0,12 \quad (3.24)$$

Таким образом, эскалация важности научных грантов вызвана с их экономическим значением, поскольку в первую очередь они служат специальным механизмом финансирования исследований, который играет жизненно важную роль для научных сообществ. Задача грантовой поддержки научных исследований была сформулирована в Стратегии инновационного развития Российской Федерации (РФ) на период до 2020 года [13]. Помимо этого, федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике» закрепил цель государственной научнотехнической политики, а именно: «развитие, рациональное размещение и эффективное использование научно-технического потенциала, увеличение вклада науки и техники в развитие экономики государства, реализации важнейших социальных задач, преобразование материального производства и интеграция науки и образования».

### **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

исследуемый метод обработки деталей будет активно исследоваться и искать применения в авиастроении, машиностроении космической промышленности и т.д

3. 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;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 256805,4;

4. 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**

Выполнение выпускной квалификационной работы осуществлялось в моделирующих данный процесс программах.

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.

Данный раздел включает в себя описание и влияние на человека опасных и вредных факторов при исследовании проекта на тему «Моделирование процессов в оборудовании при обработке тонкостенных 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.

### **4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Работа за персональным компьютером регулируется техникой безопасности предприятия и требует соблюдения предписанных норм. При выполнении работ на персональном компьютере согласно ГОСТу 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» могут иметь место следующие факторы:

- микроклимат;
- повышенный уровень шума;
- недостаточное освещение;
- электромагнитные излучения;

- зрительное напряжение;
- нервно-эмоциональные перегрузки;
- поражение электрическим током.

#### **4.3.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства**

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. Включает в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные мероприятия. Основные документы в области охраны труда: Конституция РФ; Трудовой кодекс РФ.

Государственные нормативные акты:

С 30 июня 2003 г. введены новые Санитарно-эпидемиологические правила СанПиН 2.2.2/2.4. 1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Требования Санитарных правил распространяются на вычислительные электронные цифровые машины персональные и портативные; периферические устройства вычислительных комплексов (принтеры, сканеры, клавиатуру, модемы внешние); устройства отображения информации (видео дисплейные терминалы — ВДТ) всех типов, условия и организацию работы с ПЭВМ и направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека вредных факторов производственной среды и трудового процесса при работе с ПЭВМ. Рабочие места с использованием ПЭВМ и помещения для их эксплуатации соответствуют требованиям Санитарных правил.

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

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

ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда.  
Электробезопасность.

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

#### 4.3.2 Организационные мероприятия при 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.

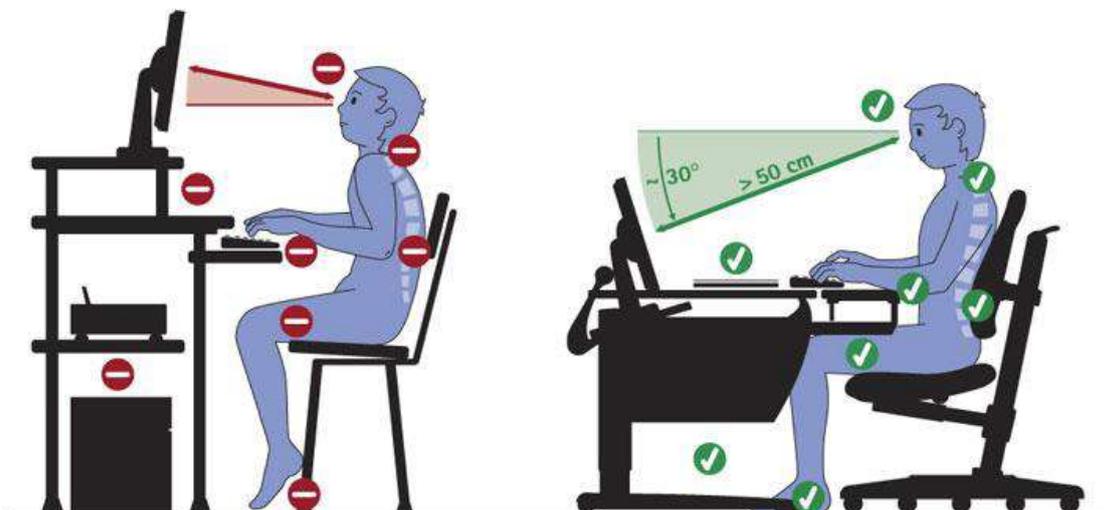


Рисунок 4.1- Правильное положение при работе за компьютером.

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.

С целью избежать переутомления работника СанПиН рекомендуют делать перерывы длительностью от 10 до 15 минут после 45-60 минут работы. Во время перерыва работнику следует выполнять гимнастику для глаз и физические упражнения, предусмотренные приложениями 8-10 к СанПиН.

## 4.2 Профессиональная социальная безопасность

В данном пункте рассматриваются опасные и вредные факторы (ГОСТ 12.0.003-2015), которые могут возникнуть во время разработки, изготовления и испытания гидроабразивных установок. Перечисленные факторы приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Вредные и опасные факторы при разработке и выполнении работ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разр абот ка	Изго товл ение	Эксп луата ция	
<b>Вредные факторы</b>				
1. Отклонения показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4. 1340-03 “Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы”
2. Превышение уровня шума	–	–	–	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
3. Повышенный уровень вибрации	–	–	–	СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
5. Психофизиологические производственные факторы	+	+	+	Трудовой кодекс РФ
<b>Опасные факторы</b>				
1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой	+	+	+	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.

может произойти через тело человека				Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
-------------------------------------	--	--	--	---

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

Объектом исследования является способ управления режимами обработки в реальном времени посредством прогнозирования технологических параметров при помощи математического моделирования.

Способ управления режимами обработки имеет такие-же вредные и опасные факторы как и в п.4.3.4, так как эксплуатация способа производится на ЭВМ, но только при помощи других программных продуктов, которые на данный момент еще не выпущены.

### **4.3.4 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

#### **Микроклиматические условия**

Под термином «микроклимат» понимается совокупность нескольких опасных факторов - температура окружающей среды, влажность воздуха и скорость движения воздуха. Отклонение данных показателей от нормы влияет главным образом на осуществление теплообмена организма с окружающей средой.

Повышенная температура воздуха приводит к скорой утомляемости служащего, также приводит к перегреву организма, тепловому удару. Пониженная температура окружающей среды работника может вызвать охлаждение организма, вызвать простуду или обморожение. Влажность воздуха сильно воздействует на терморегуляцию организма человека. Повышенная влажность и повышенная температура воздуха приводит к перегреванию организма, а при пониженной температуре повышенная влажность увеличивает теплопередачу с поверхности кожи, что приводит к

переохлаждению организма. Пониженная влажность способствует пересыханию слизистых оболочек человека.

На рабочих местах пользователей ПК обеспечены оптимальные параметры микроклимата в соответствии с СанПиНом 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». Согласно данному документу, работа с ПК относится к категории тяжести работ 1а (работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением). Исходя из данной классификации, температура воздуха в холодный период года не более 22-24°C, в теплый период года 23-25°C. Относительная влажность составляет 40-60%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с для холодного и теплого периода года.

В помещениях с компьютерами ежедневно проводится влажная уборка. До и после работы за компьютером помещение проветривается в течение 5- 10 минут, желательны частые перерывы во время работы.

### **Уровень акустического шума и вибрации**

Шум, как раздражающий фактор, оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. При работе с ПК возможно появление нервного напряжения и снижение работоспособности. Источники шума - процессор компьютера, электролампы, системы вентиляции и отопления.

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки», уровень шума на рабочем месте пользователей ПК не превышает значений 50 дБА. В помещениях всех типов образовательных учреждений, в которых эксплуатируются ПЭВМ, уровень вибрации не превышает допустимых значений. Рабочее место не имеет собственных источников вибрации, но испытывает общетехнологические воздействия. Следовательно, согласно классификации по источнику возникновения вибрации, рабочее место относится к Категории 3 и Типу В.

## **Уровень электромагнитных полей (ЭМП) и мягкого рентгеновского излучения**

Согласно СанПиН 2.2.4.3359-16. «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» при напряженности электрического поля в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц и в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц временные допустимые уровни электромагнитного поля составляют 25 В/м и 2,5 В/м соответственно. Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса видеодисплейного терминала не превышает 1 мкЗв/ч (100 мкР/ч).

Полностью избежать воздействия ЭМП ПЭВМ невозможно. Но можно максимально снизить это воздействие. Меры снижения интенсивности ЭМП состоят в рациональном размещении рабочих мест - соседний ПК находится на расстоянии 1,5 м, особенно его боковые и задние стенки.

### **Освещение на рабочем месте**

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.

Согласно СНиП 23-05-95\* «Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение», в помещениях для эксплуатации ПК организовано естественное освещение через светопроемы, обеспечивающее коэффициенты естественной освещенности (КЕО) не ниже 1.5%.

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:

$$S=A \cdot B=5 \cdot 3=15 \text{ м}^2 \quad (4.1)$$

Индекс помещения находится по формуле:

$$i = \frac{S}{(A + B) \cdot h} = \frac{15}{(5 + 3) \cdot 1,5} = 1,25 \quad (4.2)$$

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  $E_n=400$  лк, коэффициент запаса  $k_z=1,4$ .

Вычислим световой поток для создания требуемого освещения:

$$\Phi_{л} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{10 \cdot 0,36} = 2333,33 \text{ лм} \quad (4.3)$$

Световой поток для одного светильника равен:

$$\Phi_{л1} = \frac{\Phi_{л}}{N} = \frac{2333}{4} = 583,33\text{лм} \quad (4.4)$$

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 4.2.

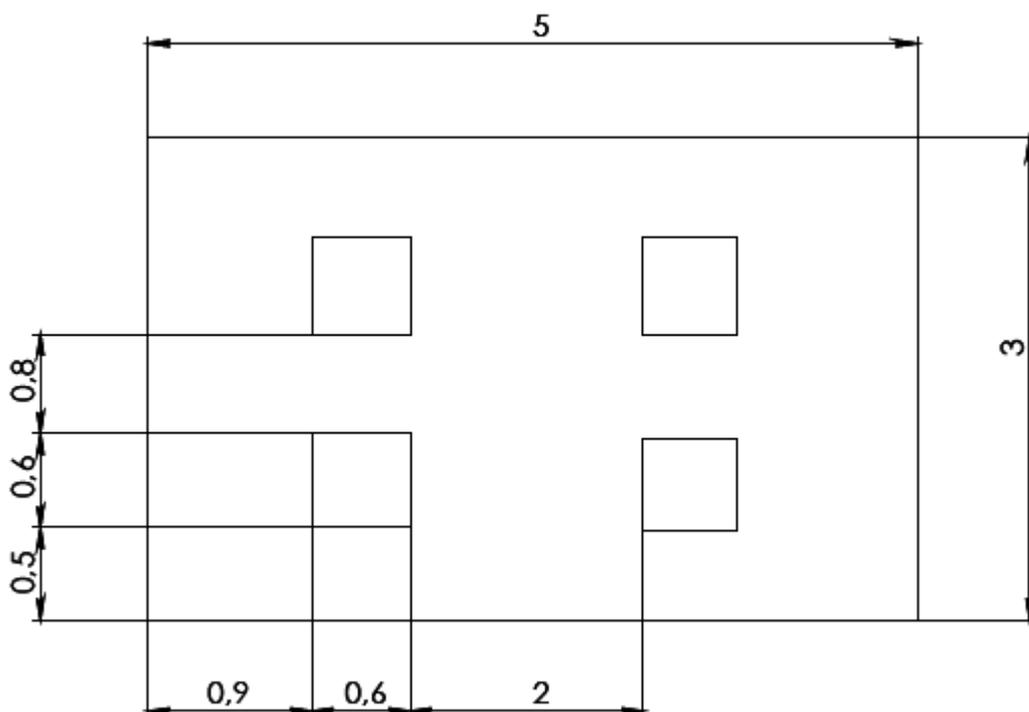


Рисунок 4.2 – Схема расположения ламп.

### Психофизиологические факторы

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» существуют следующие психофизиологические опасные и вредные производственные факторы:

- статические перегрузки;
- динамические.
- умственное перенапряжение;
- монотонность труда.

Работа на ПК сопровождается постоянным и значительным напряжением функций зрительного анализатора. Расстройство органов зрения резко увеличивается при работе более четырех часов в день.

Нервно-эмоциональное напряжение при работе на ПК возникает вследствие дефицита времени, большого объема и плотности информации, особенностей диалогового режима общения человека и ПК, ответственности за безошибочность информации. Продолжительная работа на дисплее, особенно в диалоговом режиме, может привести к нервно-эмоциональному перенапряжению, нарушению сна, ухудшению состояния, снижению концентрации внимания и работоспособности, хронической головной боли, повышенной возбудимости нервной системы, депрессии.

Повышенные статические нагрузки у пользователей ПК приводят к жалобам на боли в спине, шейном отделе позвоночника и руках. Из всех недомоганий, обусловленных работой на компьютерах, чаще встречаются те, которые связаны с использованием клавиатуры.

Сущность монотонности заключается в продолжительном неприятном воздействии однообразия работы на организм человека, его нервную систему.

Монотонная работа существенно влияет на функциональное состояние человека. Под влиянием монотонности человек, не умеющий это психическое состояние сдерживать или устранять, становится вялым, безучастным к работе, возникает угнетающее состояние, что приводит к преждевременному утомлению.

Для существенного уменьшения боли и неприятных ощущений, возникающих у пользователей ПК, необходимы частые перерывы в работе и удобное рабочее место, чтобы исключать неудобные позы и длительное напряжение.

Рассмотрев вредные факторы, можно переходить к опасным.

### **Поражение электрическим током**

Лаборатория оснащена компьютерной и орг. техникой. Главная опасность исходит из неисправности оборудования в ходе эксплуатации и оголенных проводов в следствии брака или повреждения.

Поражение током человека может вызвать серьезные последствия в виде электротравм и иных заболеваний. Тяжесть травм, полученных в следствии воздействия электрическим током, напрямую зависит от частоты и рода тока. Нормы электробезопасности и установленные требования содержатся в стандартах ГОСТ Р 12.1.019-2009, ГОСТ 12.1.038-82.

Для снижения величин возникающих зарядов статического электричества в помещении покрытие полов выполнено из однослойного линолеума.

При работе с электроприборами очень важно соблюдать технику безопасности.

Под техникой безопасности понимается система организационных мероприятий и технических средств, направленная на предотвращения воздействия на работника вредных и опасных производственных факторов.

Не следует работать с компьютером в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного соприкосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Таким образом, работа может проводиться только в помещениях без повышенной опасности.

Лаборатория, в которой проводились работы, по опасности электропоражения относится к помещениям без повышенной опасности, то есть отсутствуют условия, создающие повышенную опасность.

В помещении используются приборы, потребляющие напряжение 220В переменного тока с частотой 50Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

- 1) Перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;

2) При обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо не делая никаких самостоятельных исправлений сообщить ответственному за оборудование;

3) Запрещается загромождать рабочее место лишними предметами. При возникновении несчастного случая следует немедленно освободить пострадавшего от действия электрического тока и, вызвав врача, оказать ему необходимую помощь.

#### **4.3.5 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

##### **Микроклиматические условия**

Для поддержания требуемых микроклимата используется обогреватели в зимнее время года, кондиционирования воздуха, система отопления. Одежда персонала должна быть соответствующей температурным условиям. В условиях пониженной влажности рекомендуется озеленять помещение, чаще делать влажную уборку, а в условиях повышенной чаще проветривать помещение. Также возможно применение бытовых увлажнителей/осушителей воздуха, которые позволят постоянно поддерживать заданный уровень влажности в помещениях. Проблемы с низкой подвижностью воздуха, особенно опасны в теплое время года при повышенной влажности и температуре. Рекомендуется чаще проветривать помещения, использовать бытовые кондиционеры.

##### **Уровень электромагнитных полей (ЭМП) и мягкого рентгеновского излучения**

Методы защиты от электромагнитного излучения:

- рациональное планирование деятельности персонала;
- сокращение времени, проведенного за ПК;
- использование техники с низкой мощностью источника излучений;

- размещение рабочих столов с учетом специфики распространения электромагнитного излучения.

### **Уровень акустического шума и вибрации**

Для снижения шума на рабочем месте, можно применить следующие действия:

- установить пластиковые окна, для улучшения шумоизоляции;
- использовать звукопоглощающие материалы;
- устройство подвесного потолка, который служит звукопоглощающим экраном.

Для снижения уровня звукового давления на рабочих местах и местах постоянного пребывания людей в производственных и общественных зданиях используются звукопоглощающие конструкции, такие как звукопоглощающая облицовка, которая размещается на потолке и стенах помещений, экраны, изготовленные из сплошных твердых щитов, облицованных звукопоглощающим материалом.

Также для основного мероприятия борьбы с шумом и вибрацией, можно отнести следующий фактор - Правильная организация труда и отдыха

### **Освещение на рабочем месте**

Один из важных показателей освещенности является коэффициент пульсации. Основными методами для его уменьшения являются: включение люминесцентных ламп в разные фазы трехфазной электрической сети, питание двух ламп в светильнике со сдвигом (одну отстающим током, другую опережающим), использование светильников где лампы должны работать от переменного тока частотой 400 Гц и выше. Благодаря этим методам суммарная пульсация уменьшается. Также, для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПК следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

### **Психофизиологические факторы**

При развитии монотонности необходимо сменить ритм трудовой деятельности, а во время перерыва рекомендуется использовать активный отдых (проведение производственной гимнастики с рациональным комплексом физических упражнений). Также исключение фиксированной рабочей позы поможет улучшению работы.

### **Поражение электрическим током**

Профилактические меры включают: периодические проверки состояния пожарной безопасности, обеспечение контроля за своевременным выполнением предложенных мероприятий; проведение пожарно-технических обследований объекта; противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах.

В целях защиты необходимо применить следующие мероприятия:

- обеспечение электрической изоляции;
- инструктаж по технике безопасности персонала;
- своевременное устранение неисправной техники;
- при первых признаках замыкания необходимо незамедлительно отключить технику от электрической сети.

## **4.3 Экологическая безопасность**

При работе научно-исследовательской лаборатории основными отходами деятельности являются офисная бумага, неисправное офисная техника, люминесцентные лампы.

### **4.3.6 Анализ влияния объекта исследования и процесса исследования на окружающую среду**

#### **Загрязнение атмосферного воздуха**

Во время проведения исследований выбросы вредных веществ в атмосферу не осуществляются. Загрязнение атмосферного воздуха может возникнуть в случае возникновения пожара в учебном корпусе, в этом случае

дым и газы от пожара будут являться антропогенным загрязнением атмосферного воздуха.

### **Отходы**

Основные виды загрязнения литосферы – твердые бытовые и промышленные отходы.

При проведении исследований, образовывались различные твердые отходы. К ним можно отнести: бумагу, батарейки, лампочки, использованные картриджи, отходы от продуктов питания и личной гигиены, отходы от канцелярских принадлежностей и т.д.

Вышедшие из строя ПК и сопутствующая оргтехника относятся к IV классу опасности – вещества малоопасные. Негативное воздействие на окружающую среду, в частности на литосферу, возможно только в случае утилизации вышедших из строя частей ПЭВМ. Степень вредного воздействия таких отходов – низкая. При рациональном подходе к вопросу утилизации, почти 90% отходов оргтехники, можно вернуть обратно в строй в каком-либо виде после переработки. А оставшиеся 5% будут отправлены на заводы и свалки. При поломке же электронного оборудования необходимо правильно его утилизировать.

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

Для обеспечения экологической безопасности, при использовании ПК и периферии, следует приобретать технику, полностью соответствующую стандарту, а также утилизировать, в соответствии со всеми правилами, все 70 комплектующие, после использования. Переработка вторичного сырья, дает возможность сохранять природные ресурсы и эффективно использовать материалы, которые уже отслужили своё. Это касается не только ПК и комплектующих, а также бумаги и др.

Отходы в виде макулатуры и периферии ПК в обязательном порядке сдаются в специальные аккредитованные центры утилизации.

Для утилизации люминесцентных ламп необходимо связаться с специальной фирмой подрядчиком. Данная компания извлечет из них ртуть, а потом уже утилизирует, тем самым, не причиняя вреда окружающей среде.

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Учебная аудитория, оборудованная компьютером, относится к категории «В». Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Горючими компонентами в помещении являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, изоляция кабелей и др.

Источниками возгорания могут служить электрические схемы от ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных нарушений в работе элементы перегреваются, могут возникнуть электрические искры, способные вызвать загорания горючих материалов.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным относятся установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер.

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

1) исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

2) применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов.

3) должна быть установлена автоматическая пожарная сигнализация.

Необходимо в аудитории проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

1) организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;

2) эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;

3) технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1) противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;

2) обучение персонала правилам техники безопасности;

3) издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1) соблюдение эксплуатационных норм оборудования;

2) обеспечение свободного подхода к оборудованию;

3) содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.

Технические мероприятия:

1) соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения.

2)профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Кроме устранения самого очага пожара, нужно своевременно организовать эвакуацию людей.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. На кафедре размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре; дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания. Установлен и выполняется запрет на курение в помещении.

Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители, лопаты, ящики с песком, асбестовые одеяла. В случае возникновения пожара, необходимо предпринять следующие меры: обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. Если горит электроприбор (ПК) - накрыть его асбестовым одеялом или другим плотным материалом и дождаться прекращения горения из-за отсутствия доступа кислорода. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем. Если масштабы возгорания велики, то необходимо закрыть дверь в горящее помещение, чтобы снизить скорость распространения огня, соблюдать спокойствие и эвакуироваться.

### **Заключение раздела**

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» были рассмотрены основные вредные факторы, влияющие на работу при выполнении магистерской диссертации, и документы нормирующие их. Также были приведены основные средства защиты. Исходя из имеющихся данных, важно отметить, что рабочее место соответствует вышеупомянутым нормам и подготовлено к чрезвычайным ситуациям.

## **5 HEALTH AND SAFETY**

The thesis has been implemented with the use of specialized simulation software.

The experimental part of the thesis is carried out with the use of different software of Tomsk Polytechnic University materials science department. Working area includes a classroom equipped with heating, air-conditioning, natural and artificial light. Also, there is a first aid kit, a carbon monoxide extinguisher. The workplace is stationary and equipped with a PC.

The following section includes a description and the impact of hazardous and dangerous factors on human body during the research "Modeling of processes in equipment during the processing of thin-walled parts". The purpose of this section is to identify possible hazardous factors related to workplace in accordance with standards of occupational health, occupational safety and environmental protection.

### **The legal and institutional safety issues**

Working at PC is regulated by industry safety and requires adherence to required standards. According to GOST 12.0.003-2015 "Occupational Safety and Health Standards (OSHA). Hazardous and harmful productive factor. Classification", while working on PC the following factors should be taken into consideration:

- microclimate;
- excessive noise level;
- insufficient lighting;
- electromagnetic radiation;
- visual tension;
- nervous breakdown.

### **Special (specific for projected working area) labor standards**

Occupational safety is a system of preserving lives and health of employees during working process. The system includes legal, social, economic,

organizational, technical, health and safety, preventive and rehabilitative measures. The main documents in occupational safety are Constitution of the Russian Federation and Labour Code.

New sanitary and epidemiological regulations, 2.2.2/2.4. 1340-03 "Hygienic requirements for computers and organization of work" have been established since June 30, 2003. The requirements of the Sanitary Rules apply to:

- personal and portable electronic digital computers;
- peripheral computer system devices (printers, scanners, keyboards, external modems);
- display devices (video display terminals - VDT) of all types.

New requirements create an environment allowing for organized work on PC and aimed at preventing adverse effects of harmful production factors on human health. Workplaces equipped with PC and designated working areas comply with the Sanitary Rules.

State regulations are:

GOST 12.1.003-2014. Inter-State standard. System of Occupational safety standards. Noise. General safety requirements.

GOST R 12.1.019-2009. System of Occupational safety standards. Electrical safety. General requirements and nomenclature of protection forms.

GOST 12.1.038-82 Occupational safety standards system. Electrical safety.

GOST 12.0.003-2015. Hazardous and harmful factors. Classification.

### **Organizational measures for working area**

Every citizen of the Russian Federation has a right to work in conditions compliant with the standards prescribed in Constitution of the Russia Federation regarding safety, hygiene and health. Comfortable position and free movements are provided by means of proper positioning and arrangement of the working place (Fig. 1). Furthermore, the use of ergonomical equipment and engineering psychology

yields increased effectiveness of the working process and lesser fatigue and prevents the risk of professional diseases.

Organization of working area includes:

- correct placement of workplace area in study area
- rational ergonomic selection of working area, selection of furniture based on employee's anthropometric characteristics;
- rational placement of equipment in the working area;
- consideration of work nature and specifics.

In order to avoid fatigue, The Sanitary and Epidemiological Standard recommends taking breaks lasting 10-15 minutes every 45-60 minutes. During the break the employee should do eye gymnastics and exercise as provided by annex 8-10 of The Sanitary and Epidemiological Recommendations.

### **Social occupational safety**

Hazardous and harmful factors influence in development, manufacture and testing waterjet installations are discussed in the following paragraph (GOST 12/0/003-2015). Those factors are shown in table 1.

Table 1. Harmful and hazardous factors in development and implementation

Factors (GOST 12.0.003-2015)	Work stages			Regulations
	Development	Manufacture	Exploitation	
<b>Harmful factor</b>				
1. Microclimate deviation	+	+	+	The sanitary and epidemiological regulations 2.2.2/2.4.1340-03 “Hygienic requirements for computers and organization of work”
2. Excessive levels of noise	–	–	+	GOST 12.1.003-2014 Occupational Safety and Health (OHS). Noise. General safety requirements. Set of rules 51.13330.2011. Noise protection. Updated edition: Construction

				Regulations and rules 23-03-2003. Health standards 2.2.4/2.1.8.562–96. Noise in workplaces, residential, public buildings and built-up areas.
3. Increased vibration level			+	Health standards 2.2.4/2.1.8.566–96. Industrial vibration, vibration in residential and public buildings.
4. Insufficient lighting conditions of working area	+	+	+	Set of rules 52.13330.2016. Natural and artificial light. Updated edition: Construction Regulations and rules 23-05-95*
5. Psychophysiological production factors	+	+	+	The Labour Code of the Russian Federation.
Hazardous factors				

### **Analysis of harmful and hazardous factors**

#### **Microclimate conditions**

The term "microclimate" refers to a combination of several dangerous factors - ambient temperature, air humidity and air velocity. Deviation of these indicators from normal mainly affects heat exchange of the body with the environment.

The increase in temperatures leads to rapid fatigue of the employee, heat exhaustion and heat stroke. Low ambient temperature may cause hypothermia, flu or frostbite. Humidity affects the thermoregulation of the human body. High humidity and increased temperature leads to heat exhaustion, while low temperature and high humidity increases heat transmission from skin surface, which causes hypothermia. Low humidity leads to dryness of mucous membranes.

PC user's workplace is set up in accordance with The Sanitary And Epidemiological Regulations 2.2.4.548-96 "Hygienic requirements for the microclimate of industrial premises". According to this document, working at PC belongs to the 1A severity level (occupation with the intensity of energy

consumption up to 120 kcal/h (139 W), sedentary work, accompanied with minor physical stress). Based on this classification, the air temperature in the cold season may not be above 22-24 ° C, 23-25 ° C in the warm season. Relative humidity is 40-60%, air velocity is 0.1 m / s for the cold and warm season.

Working area should be daily wet cleaned. Working area should be ventilated for 5-10 minutes before and after working at the computer, frequent breaks during the work are preferable.

### **Acoustic noise level and vibration**

Noise as exacerbating factor has an adverse effect on human body. Working at PC may cause stress on the nervous system and reduces work capacities. Sources of noise are computer processor, electric lamps, ventilation and heating systems.

According to Health Standards 2.2.4/2.1.8.562-96 "Noise in workplaces, residential, public buildings and built-up areas", the noise level at the workplace should not exceed 50 dBA. The vibration level does not exceed allowed limitations in the premises of all types of educational institutions where PC is operated. The workplace does not have its own sources of vibration, but has direct technological impact. Therefore, according to the classification by source of vibration, the workplace is classified as Category 3 and type B.

### **Workplace lighting**

Provision of efficient level of light at the workplace is of particular importance. Since the place of work is a room, it becomes necessary to ensure as much natural and efficient light as possible, to avoid visual impairment and employee fatigue. To achieve standardized regulations of illumination, constant monitoring of servicing equipment and its replacement in the case of malfunction is provided. Natural lighting has been provided in the working area for PC operation in accordance with Construction Regulations and Rules 23-05-95 "Design Standards. Natural and artificial lighting".

Artificial lighting is a combined system, a computer screen is also counted as a light source, in order to reduce screen flickering LCD screen frame rate may be set to 60 Hz. To ensure standardized values of illumination in rooms for operating a

PC, window frame glasses and lamps are cleaned at least twice a year, burned out lamps are timely replaced.

Industrial premises with PC should be provided with combined lighting. Room parameters are length  $A=5$  meters; width  $B=3$  m; height  $H=2,5$  m; working surface level  $d=0,8$  m; led awning lights  $m=0,2$  m; ceiling reflection coefficient  $a=50\%$ , walls reflection coefficient  $b=30\%$ , floor reflection coefficient  $c=10\%$ ; distance between lamps  $h=H-d-m=1,5$  m.

Room area calculation are:

$$S=A \cdot B=5 \cdot 3=15 \text{ m}^2$$

Room index formula is:

Coefficient of luminous flux usage is found  $x=48\%$  may be found with room index and reflection coefficients. Amount of lamps  $N=4$ . Minimum illumination coefficient is taken as  $z=1$ . According to set of rules 52.13330.2016, normalized illumination is  $E_n=400$  Lux, reserve coefficient is  $k_3=1,4$ .

The luminous flux to create the required illumination may be calculated as following:

$$\Phi_{л1} = \frac{\Phi_{л}}{N} = \frac{2333}{4} = 583,33 \text{ лм}$$

Luminous flux for one lamp is equal to:

$$\Phi_{л1} = \frac{\Phi_{л}}{N} = \frac{2333}{4} = 583,33 \text{ лм}$$

Four light-emitted diode lamps ADV/K UNI LED 1200 4000 K with IP65 protection may be chosen to ensure standard lightning in the room. A schematic diagram of lamp location is presented on fig. 2.

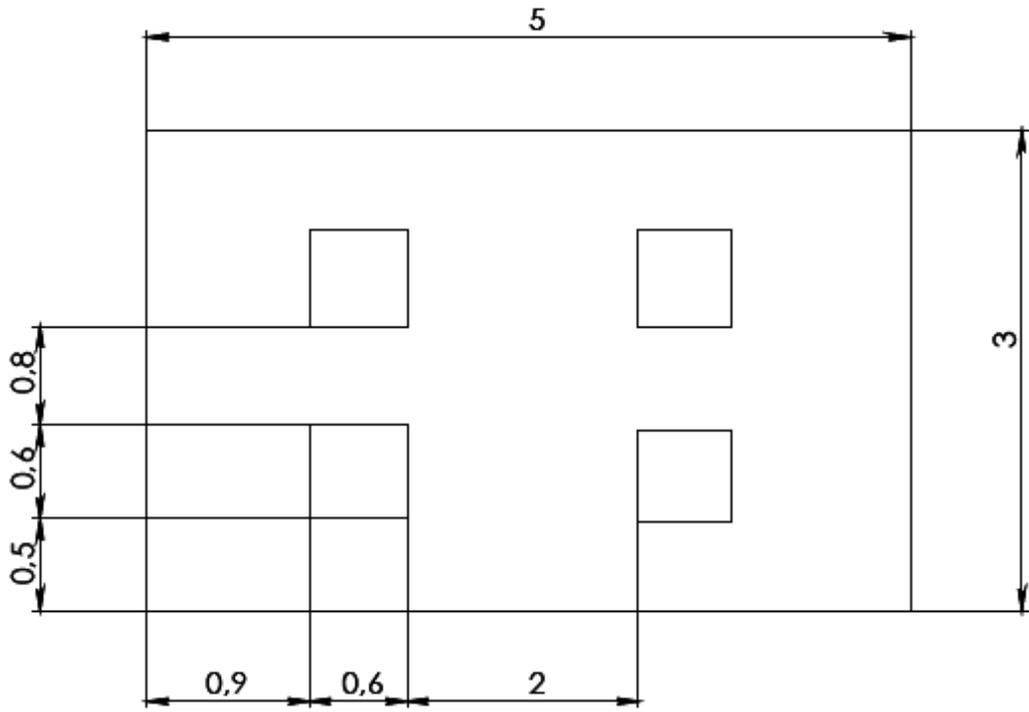


Fig. 2 - A schematic diagram of lamp location.

## Заключение

В результате выполненной работы был произведён литературный обзор на тему обработки тонкостенных деталей, произведен анализ статей по теме изготовления и способов повышения качества тонкостенных деталей.

Разработана математическая модель исследуемой тонкостенной детали в программном продукте SolidWorks. Произведено исследование резонансных частот, определено значение деформации поверхности тонкостенной детали в зависимости от участка приложения сил и вида обработки. Определено влияния жесткости системы на качество обработки. Были подобраны технологические параметры данных исследуемой системы для последующей обработки программой.

Произведено исследование зависимости технологических параметров от времени обработки тонкостенной детали. Написаны программы в программной среде MATLAB для считывания данных и для построения зависимостей технологических параметров системы. Произведен анализ построенных зависимостей, определено влияние частоты резания на качество и точность обработку тонкостенной детали. Найдена наилучшая частота резания.

В результате теоретических исследований было выявлено что система не линейна и для обработки податливых изделий неприменимы традиционные режимы резания, полученные с помощью типовых расчетов. Деформации, вызываемые силами резания и закрепления, значительно влияют на качество и точность обрабатываемой детали.

Проведя исследование можно сделать вывод что существует возможность за счёт частоты резания влиять на точность обработки и качество поверхностного слоя. Также можно отслеживать неблагоприятные моменты обработки и выявить причину. По результатам проведенного исследования даны рекомендации по нахождению наилучшей частоты резания для повышения точности и качества деталей.

На данный момент построение графиков, выбор наилучшего параметра и анализ занимают большое количество времени, в дальнейшем можно усовершенствовать данную возможность под автоматический подбор технологического параметра.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» определен коммерческий потенциал и перспективность проведения данного научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, произведен расчет бюджета НИ, определена экономическая эффективность исследования.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на здоровье и окружающую среду, а также разработаны мероприятия по устранению этих факторов.

Условия труда для исследования не имеют критических вредных и опасных факторов. Большинство опасных и вредных факторов легко устранить. Условия для работы являются комфортными и безопасными.

## Список литературы

1. Российский рынок энергооборудования. Аналитический обзор РБК [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://marketing rbc>.
2. Каблов, Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия /Е.Н. Каблов. –2-е изд., перераб. – М.: «МИСИС». – 2006. – 632 с., 13 Казанский, Д.А.
3. Д.А. Казанский. Проблемы продления службы рабочих и направляющих лопаток современных газовых турбин. [Электронный ресурс] /Д.А. Казанский// –Режим доступа: <http://resursturbin.ru/pdf/resursturbin04.pdf>.
4. Жаргалова А.Д., Гаврюшин С.С., Лазаренко Г.П., Семисалов В.И. О «мягких» режимах резания для обработки тонкостенных деталей // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016)
5. С.С. Гаврюшин, А.Д. Жаргалова, Г.П. Лазаренко, В.И. Семисалов Метод определения условий механической обработки тонкостенных деталей // 2015 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
6. Л.В. Кремлева, А.Н. Елисеев. Сравнение вариантов схем базирования съемных лопастей гребных винтов при их обработке //Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17
7. А.В. Синёв, А.Г. Чистяков, Л.Б. Былинин, Д.Л. Эткин, Т.И. Денисенко, В.В. Яковлев. Робот-станок параллельной кинематики с устройствами динамического гашения колебаний А.В. Синёв, А.Г. Чистяков, Л.Б. Былинин, Д.Л. Эткин, Т.И. Денисенко, В.В. Яковлев// Проблемы машиностроения и автоматизации, № 2 – 2009
8. 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.
9. В.И. Новиков, С.Л. Мурашкин, А.И. Фоломкин. Технологические возможности чистовой обработки турбинных лопаток электролитно-

плазменным методом В.И. Новиков, С.Л. Мурашкин, А.И. Фоломкин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование 2-2' 2012.

10. Scott Smith, Robert Wilhelm, Brian Dutterer, Harish Cherukuri, Gaurav Goel. Sacrificial structure preforms for thin part machining /Department of Mechanical Engineering, University of North Carolina at Charlotte, Charlotte, NC, USA 2012.

11. А.А. Игнатъев, Е.М. Самойлова, М.Ю. Захарченко. Модель автокорреляционной функции виброакустических колебаний при резании в динамической системе станка. Часть 2. 2015 г.

12. С.А. Зелинский, Ю.А. Морозов, Ю.А. Серебряй. Математическая модель процесса контурного фрезерования нежёстких деталей С.А. Зелинский, Ю.А. Морозов, Ю.А. Серебряй, 2015 г.

13. В. Л. Заковоротный<sup>1</sup>, В. Е. Гвинджилия. Влияние биений шпиндельной группы на притягивающие множества деформационных смещений инструмента при точении // Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация 2017 г.

14. С. И. Дядя. Исследование механизма возбуждения автоколебаний при концевом фрезеровании тонкостенного элемента детали. Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье. 2017 г.

15. С. Б. Беликов, А. И. Гермашев, В. А. Логоминов, Е. Б. Козлова, В. А. Кришталь. Особенности концевого фрезерования сложно -профильных тонкостенных деталей. Запорожский национальный технический университет, 2ГП «Ивченко-Прогресс»; г. Запорожье, 2017 г.

16. С. И. Дядя, Е. Б. Козлова, А. И. Гермашев, А. А. Сердюк Влияние условий концевого финишного фрезерования на параметры колебаний тонкостенной детали // Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье 2015 г.

17. С.А. Воронов А.В. Непочатов И.А. Киселев. Критерии оценки устойчивости процесса фрезерования нежестких деталей. // Известия высших учебных заведений. 2010 г.

18. Николаев С. М, Жулёв В. А, Киселёв И. А. Уточнение конечно-элементной модели лопатки ГТД на основе результатов вибрационных испытаний с учётом разброса модальных параметров // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 09. С. 336–351.
19. C. Brecher , M. Esser, S. Witt. CIRP Annals - Manufacturing Technology //Laboratory for Machine Tools and Production Engineering, RWTH Aachen University, Aachen, Germany
20. Milling P. Kersting, D. Biermann. Modeling Techniques for the Prediction of Workpiece Deflections in NC Milling P. Kersting, D. Biermann //Institute of Machining Technology, TU Dortmund, Baroper Str. 301, 44227 Dortmund, Germany 2012г.
21. Erhan Budak , L.Taner Tunc, a, Salih Alan b, H. Nevzat. Prediction of workpiece dynamics and its effects on chatter stability in milling Erhan Budak , L.Taner Tunc, a, Salih Alan b, H. Nevzat // CIRP Annals - Manufacturing Technology 61 (2012) 339–342.
22. Simulation of milling tool vibration trajectories along changing engagement conditions Tobias Surmann. International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 1442–1448.
23. A novel stability prediction approach for thin-walled component milling considering material removing process Chinese Journal of Aeronautics, (2017),
24. P. Kersting, D. Biermann. Modeling techniques for simulating workpiece deflections in NC milling P. Kersting, D. Biermann Institute of Machining Technology, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 7 (2014) 48–54.
25. Daniel Bachrathy, Gabor Stepan. Improved prediction of stability lobes with extended multi frequency solution Daniel Bachrathy, Gabor Stepan. CIRP Annals - Manufacturing Technology 62 (2013) 411–414.

26. Xiao Jian Zhang, Cai Hua Xiong ,Ye Ding, Ming Jun Feng, You Lun Xiong Milling stability analysis with simultaneously considering the structural mode coupling effect and regenerative effect./ International Journal of Machine Tools Manufacture53 (2012)127–140.
27. . Graham, M. Mehrpouya , R. Nagamune , S.S. Park. Robust prediction of chatter stability in micro milling comparing edge theorem and LMI // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 7 (2014) 29–39.
28. Ahmad R.Yusoff , Neil D.Sims. Optimization of variable helix tool geometry for regenerative chatter mitigation// International JournalofMachineTools&Manufacture51(2011).
29. 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.
30. 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).
31. 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.
32. 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).
33. 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.

34. 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).
35. Y. Altintas , O. Tuysuz , M. Habibi , Z.L. Li.Virtual compensation of deflection errors in ball end milling of flexible blades. CIRP Annals - Manufacturing Technology 67 (2018).
36. Логунов, А.В. Жаропрочные никелевые сплавы для лопаток и дисков газовых турбин /А.В. Логунов. – Рыбинск: Издательский дом «Газотурбинные технологии». – 2017. – 854 с , 12.
37. И. Афонасов.Выбор оптимальных режимов резания при точении титановых сплавов.
38. Ю. Кулагин , Я. Е. Бейгельзимер. Технологические особенности изготовления лопаток компрессора ГТД из титановых сплавов с применением винтовой экструзии.
39. В. Н. Варюхин<sup>2</sup> , Д. В. Распорня<sup>2</sup>, Справочное руководство ISCAR Обработка титана
40. Расчет режимов резания при механической обработке металлов и сплавов [Э.Г. Бабенко].pdf
41. Справочник технолога том 1 (Косилова А.Г.).djvu]
42. Справочник технолога том 2 (Косилова А.Г.).djvu,

## Приложение А

```
clc;
clear
close all
%fig = figure;
A = load ('C:\Users\Kadochnikova_vv\Desktop\Дип\Resolver for
experiments\output_graph_data.txt');
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);
subplot(5,1,1);plot(x, y3.*1000,'k-', 'LineWidth', 1);
title ('График зависимости деформации детали от времени');
ylabel('мм');xlabel('Время, с');
grid on;
subplot(5,1,2);plot(x,y1.*1000,'k-', 'LineWidth',1);
title ('График зависимости деформации фрезы от времени');
ylabel('мм');
xlabel('Время, с');
grid on;
subplot(5,1,3);plot(x,y4.*1000,'k-', 'LineWidth',1);
title ('График зависимости деформации стола, от времени');
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto');
ylabel('мм');
xlabel('Время, с');
grid on;
subplot(5,1,4);
plot(x,y11.*1000,'k-');
title ('График зависимости размера стружки от времени');
xlabel('Время, с');
ylabel('мм');
grid on;
subplot(5,1,5);plot(x,y9.*1000,'k-', 'LineWidth',1);
title ('График зависимости силы резания от времени');
ylabel('Н');
xlabel('Время, с');
grid on;
```

## Приложение Б

Таблица Б – Значения скоростей для построения графиков.

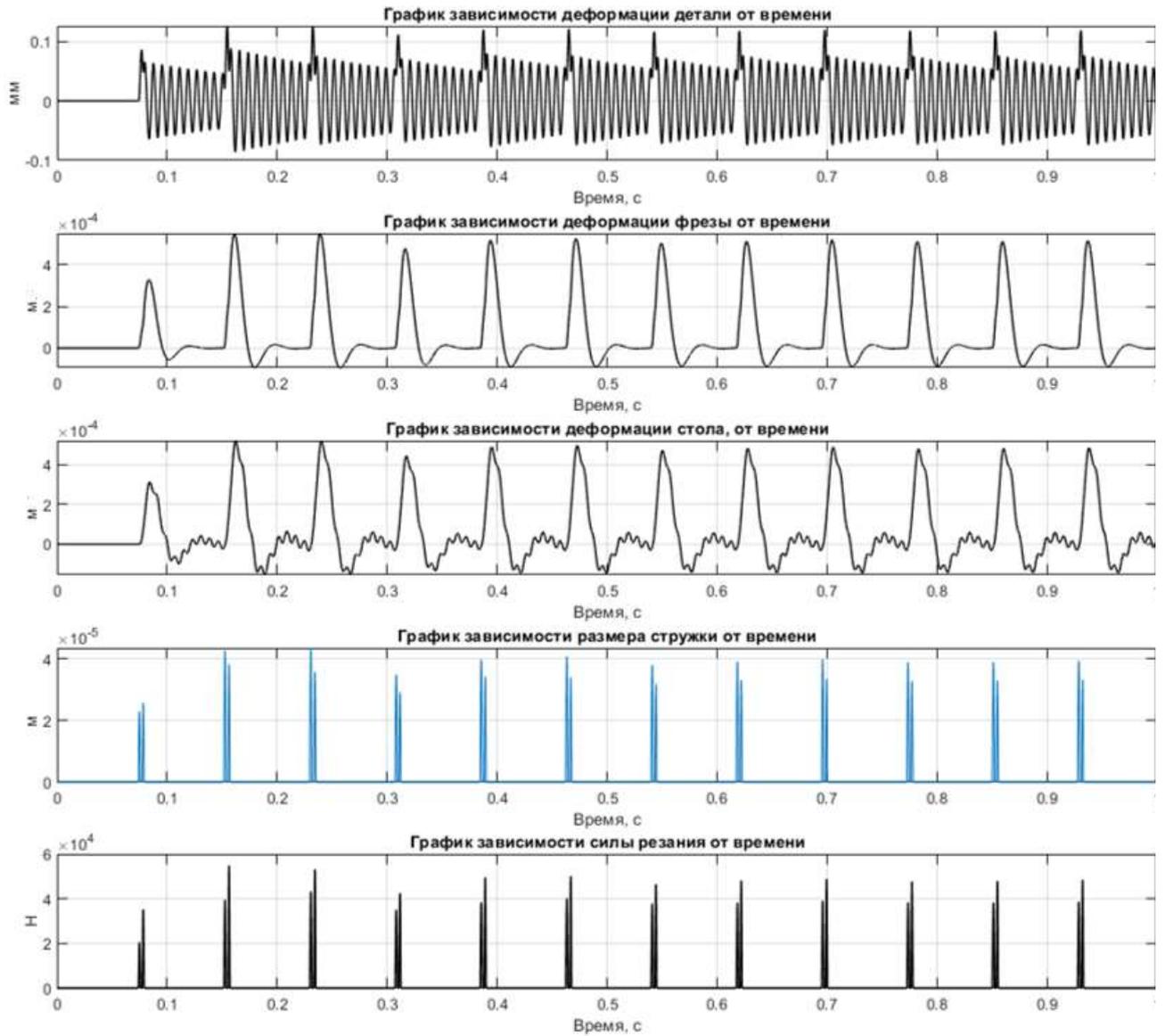
Скорость резания, м/мин	Угловая скорость фрезы, рад/с	Частота резания, Гц
25	27,78	13,27
30	33,33	15,92
35	38,89	18,58
40	44,44	21,23
41	45,56	21,76
42	46,67	22,29
43	47,78	22,82
43,5	48,33	23,09
44	48,89	23,35
44,5	49,44	23,62
44,8	49,78	23,78
44,9	49,89	23,83
45	50,00	23,89
45,1	50,11	23,94
45,2	50,22	23,99
45,3	50,33	24,04
45,4	50,44	24,10
45,5	50,56	24,15
45,6	50,67	24,20
45,7	50,78	24,26
45,8	50,89	24,31
46	51,11	24,42
47	52,22	24,95

48	53,33	25,48
49	54,44	26,01
50	55,56	26,54
51	56,67	27,07
52	57,78	27,60
52,1	57,89	27,65
52,2	58,00	27,71
52,3	58,11	27,76
52,4	58,22	27,81
52,5	58,33	27,87
52,6	58,44	27,92
52,7	58,56	27,97
52,8	58,67	28,03
53	58,89	28,13
53,2	59,11	28,24
53,3	59,22	28,29
53,4	59,33	28,34
53,5	59,44	28,40
53,6	59,56	28,45
53,7	59,67	28,50
53,8	59,78	28,56
53,9	59,89	28,61
54	60,00	28,66
54,5	60,56	28,93
55	61,11	29,19
55,5	61,67	29,46

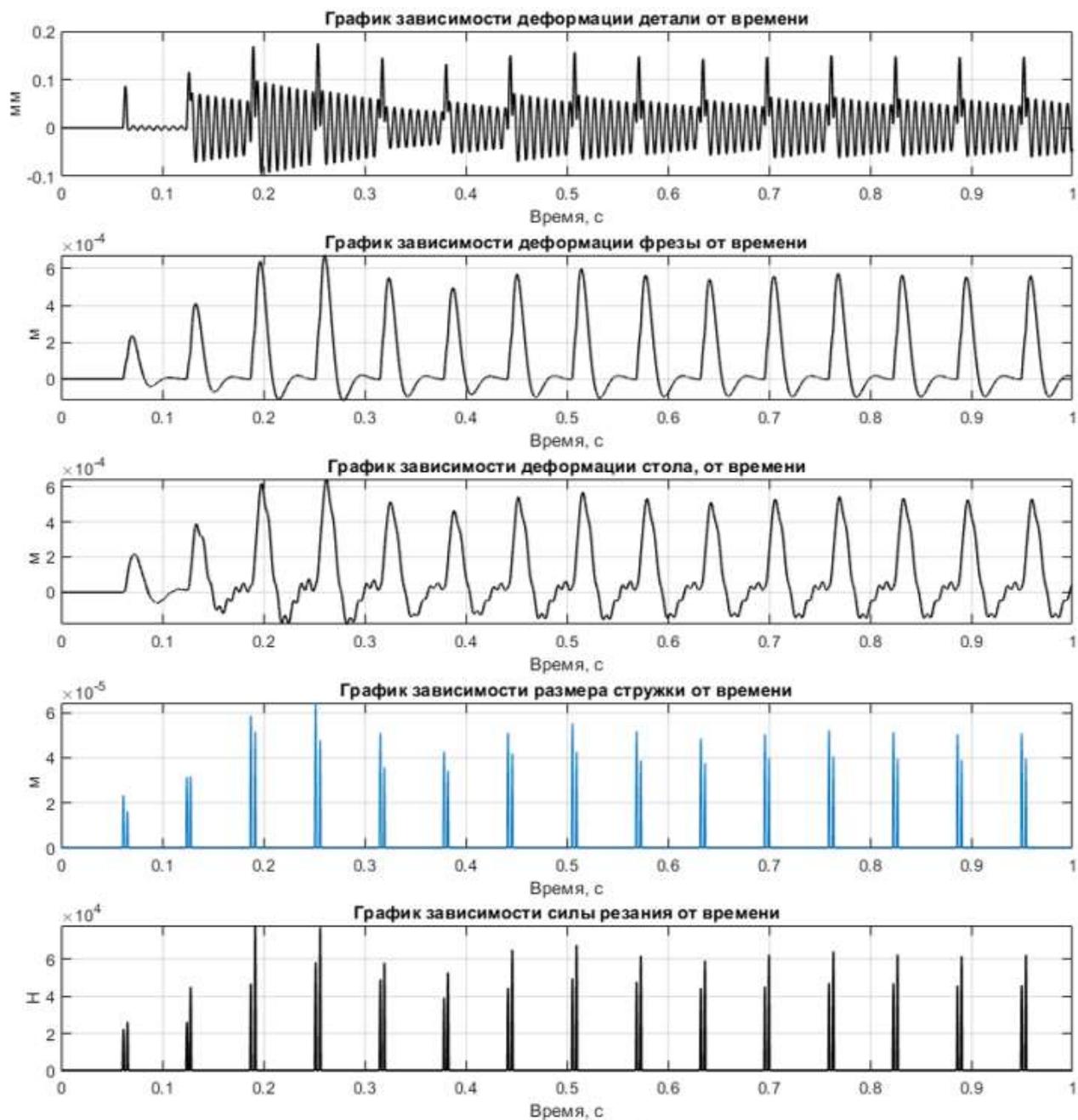
56	62,22	29,72
57	63,33	30,25
57,5	63,89	30,52
58	64,44	30,79
58,5	65,00	31,05
59	65,56	31,32
60	66,67	31,85
65	72,22	34,50
68	75,56	36,09
69	76,67	36,62
69,5	77,22	36,89
70	77,78	37,15
70,5	78,33	37,42
261,5	290,56	138,80

## Приложение В

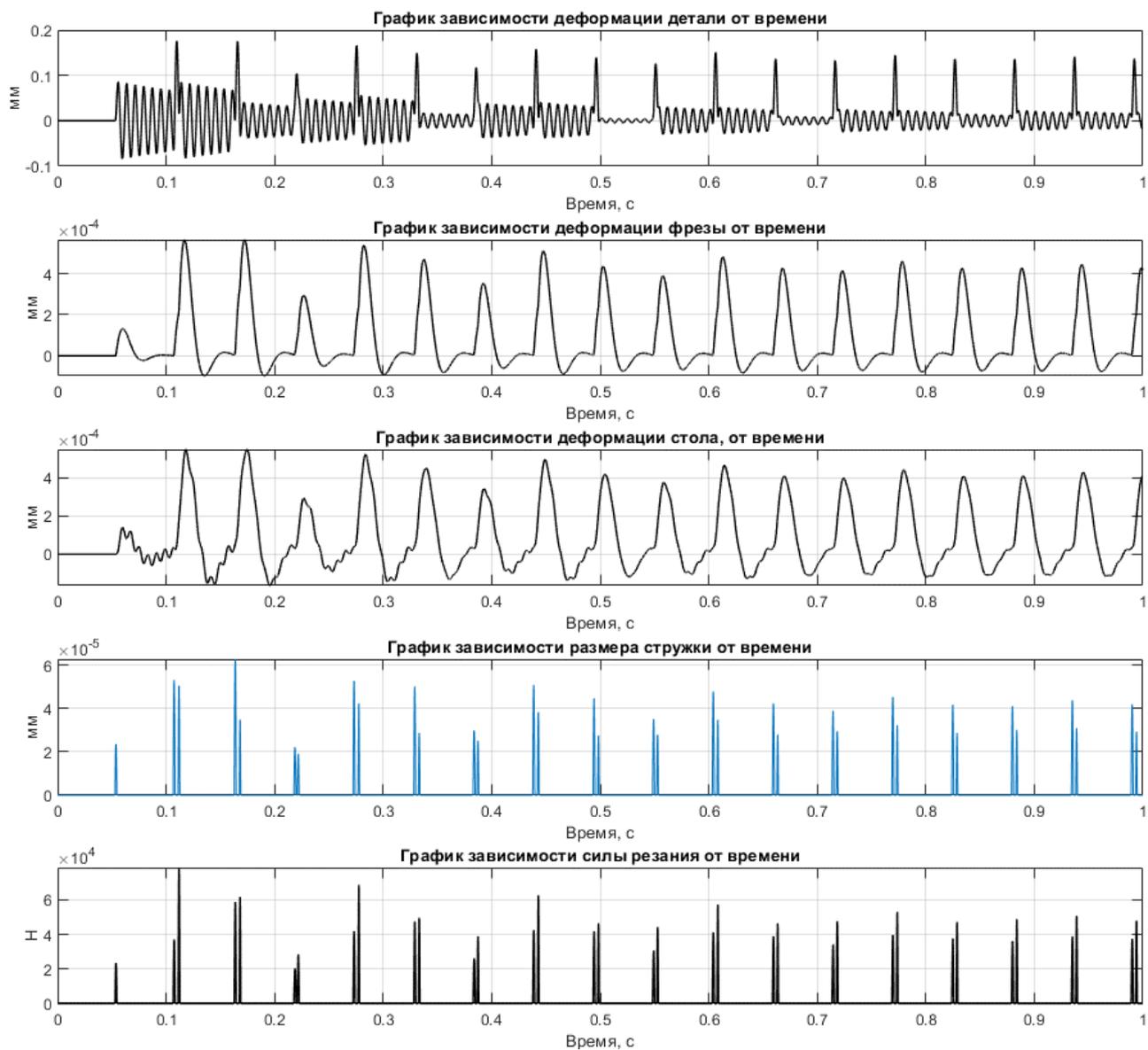
### Скорость резания 25 м/мин



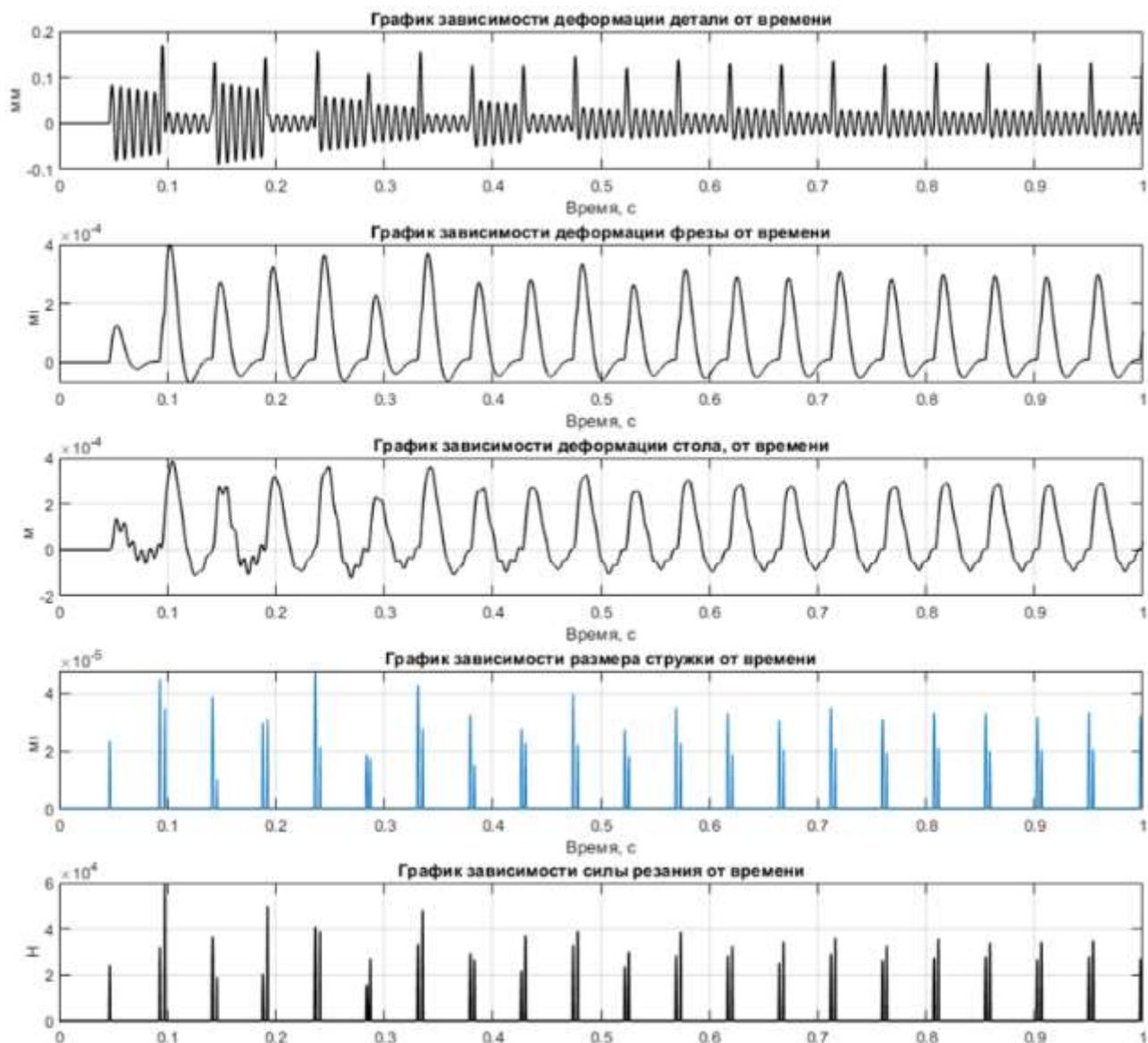
## Скорость резания 30 м/мин



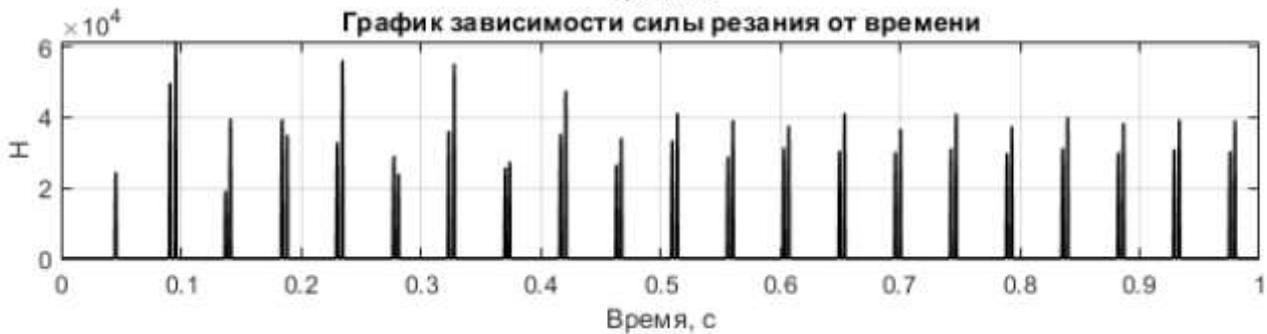
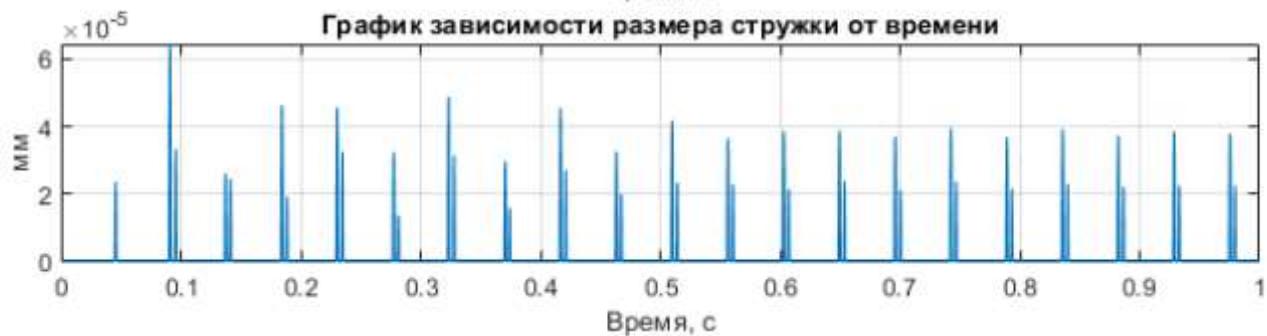
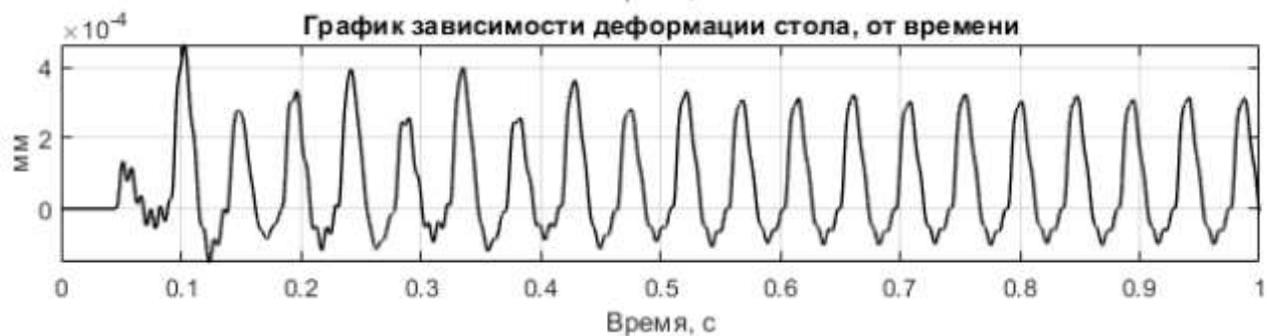
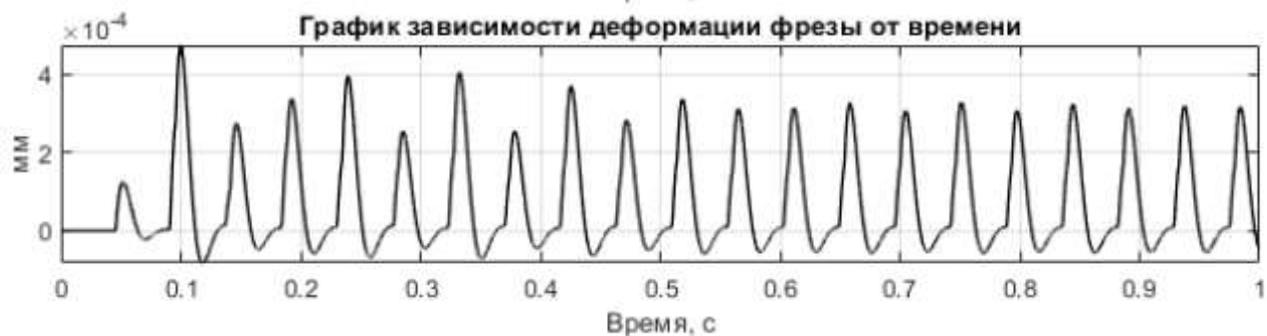
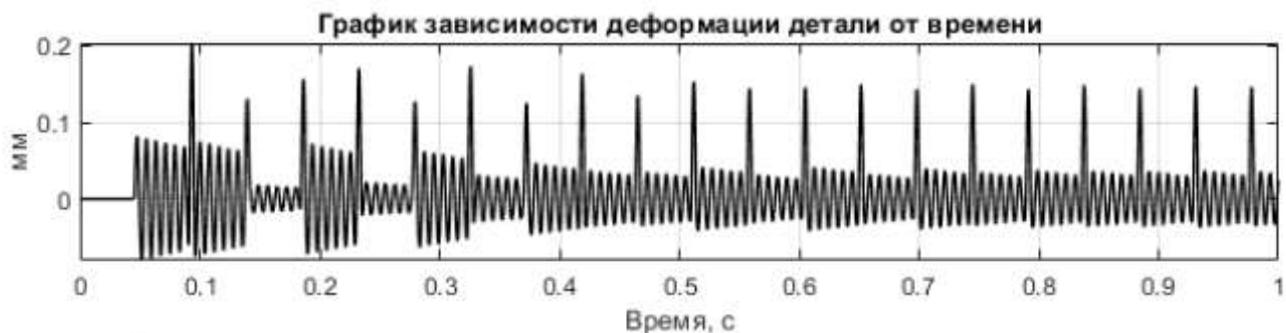
# Скорость резания 35 м/мин



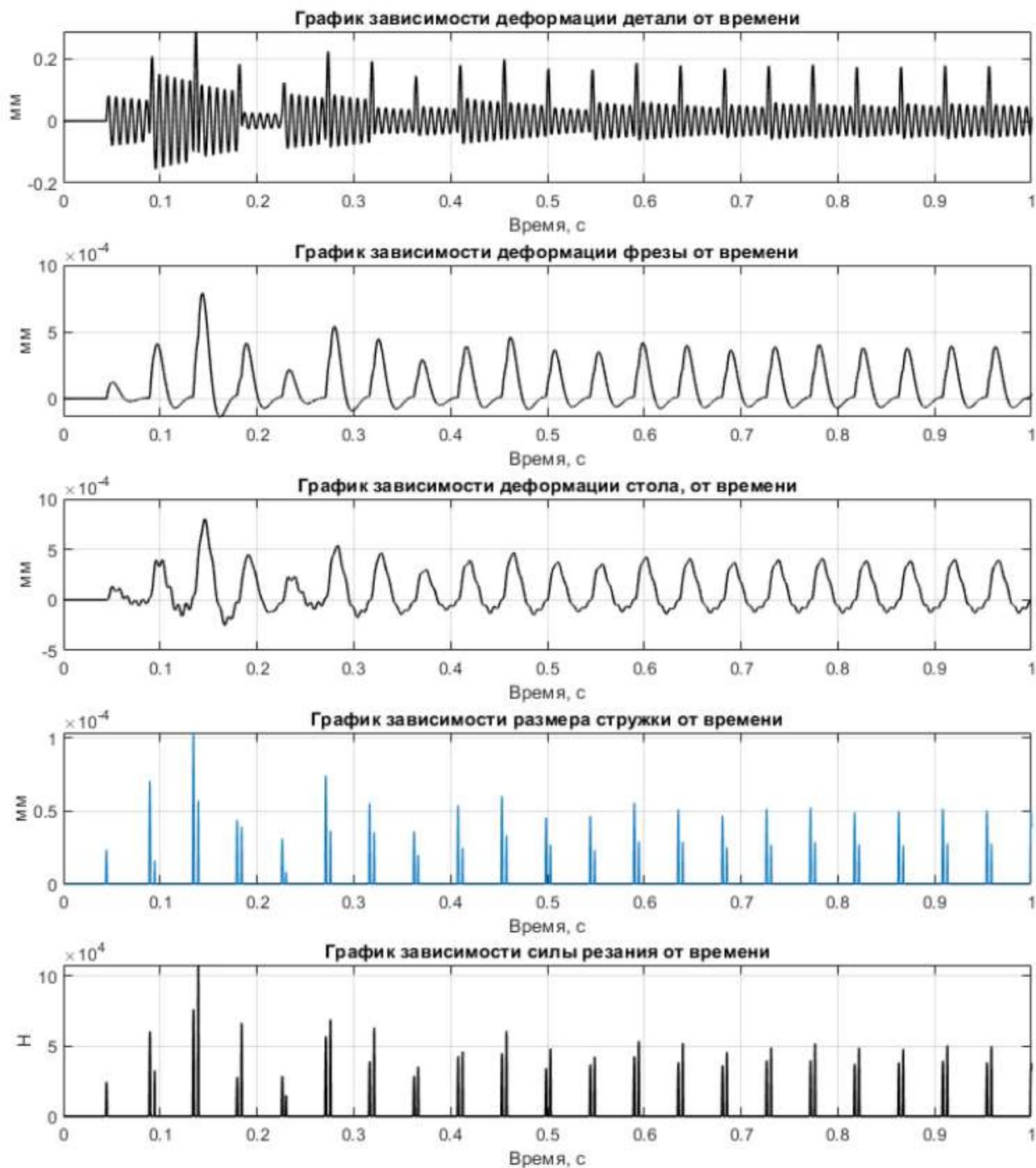
## Скорость резания 40 м/мин



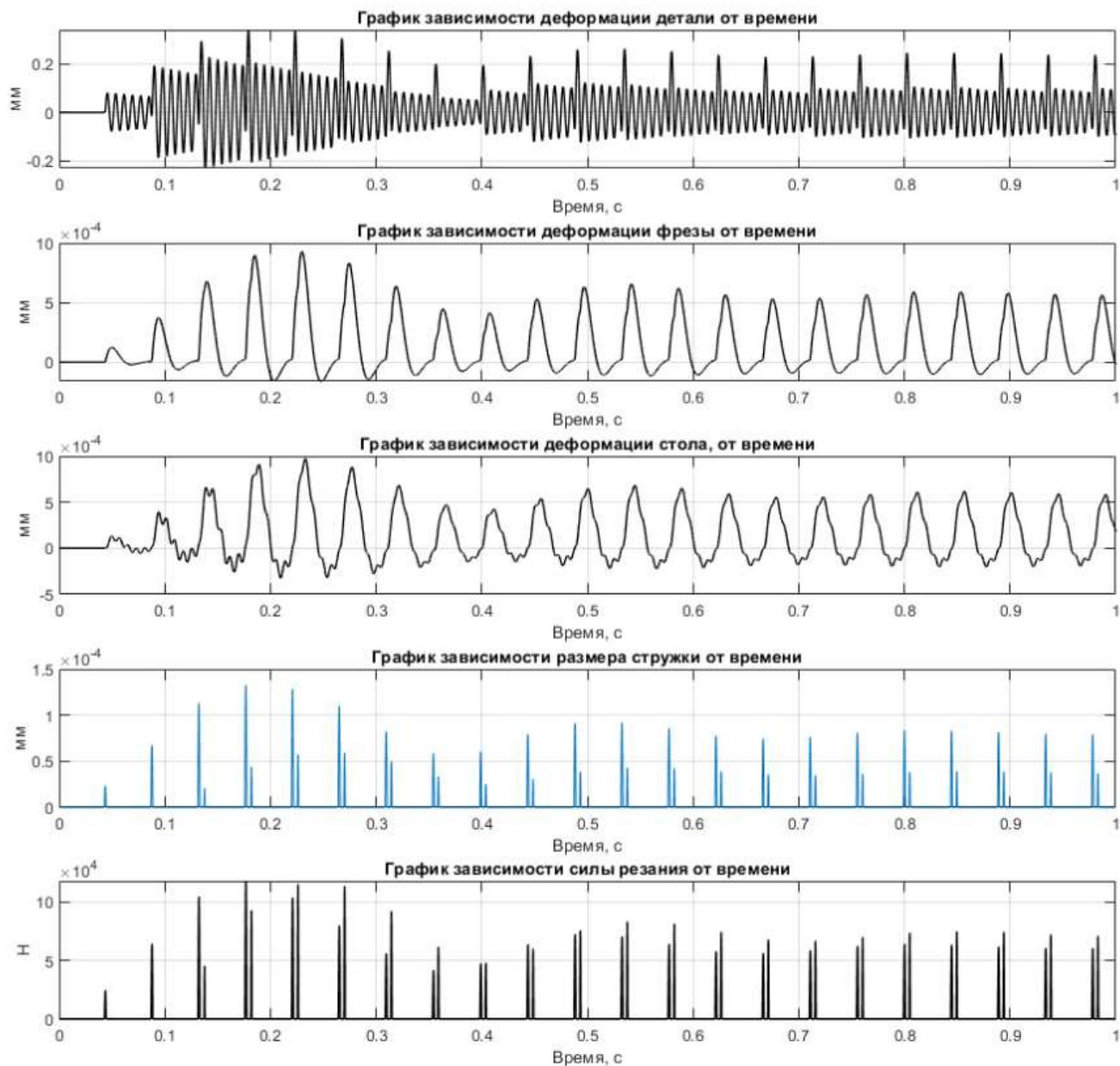
## Скорость резания 41



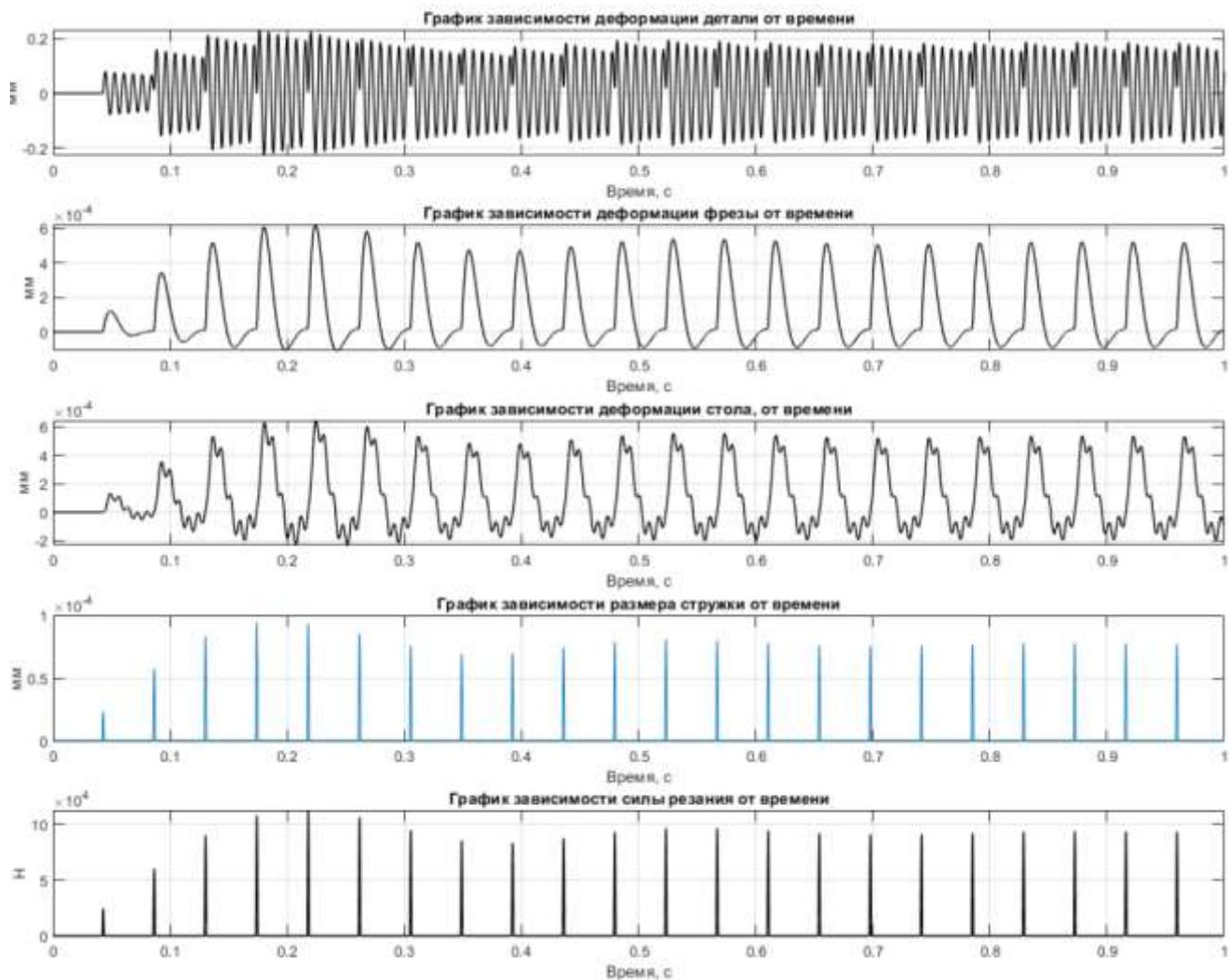
## Скорость резания 42



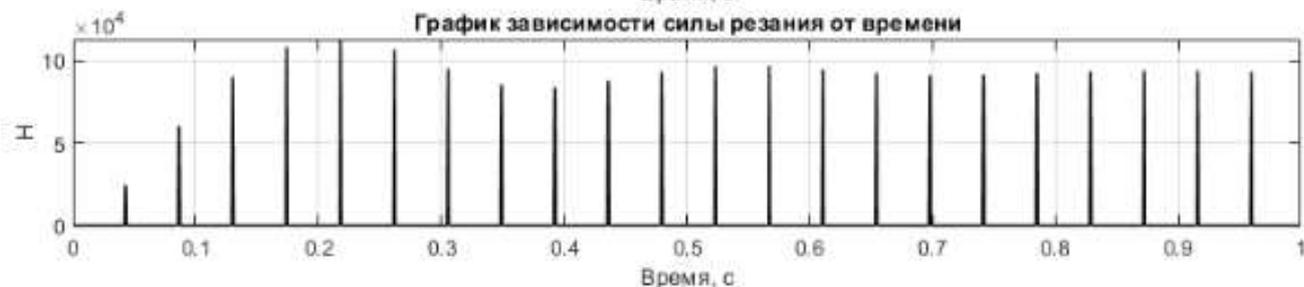
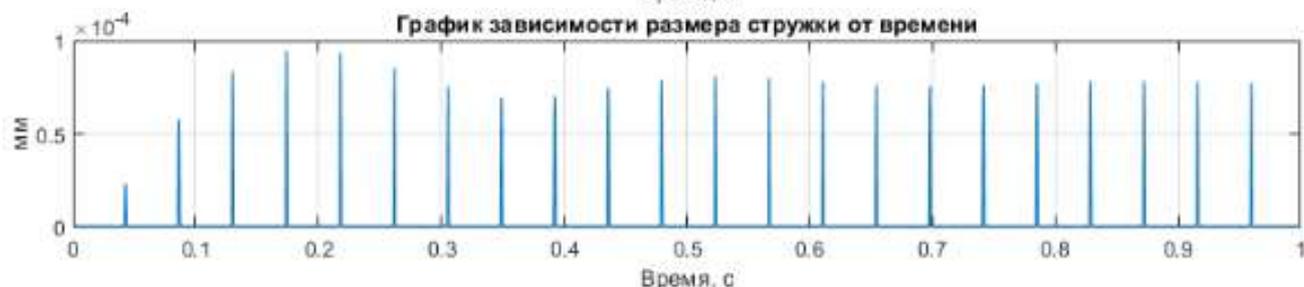
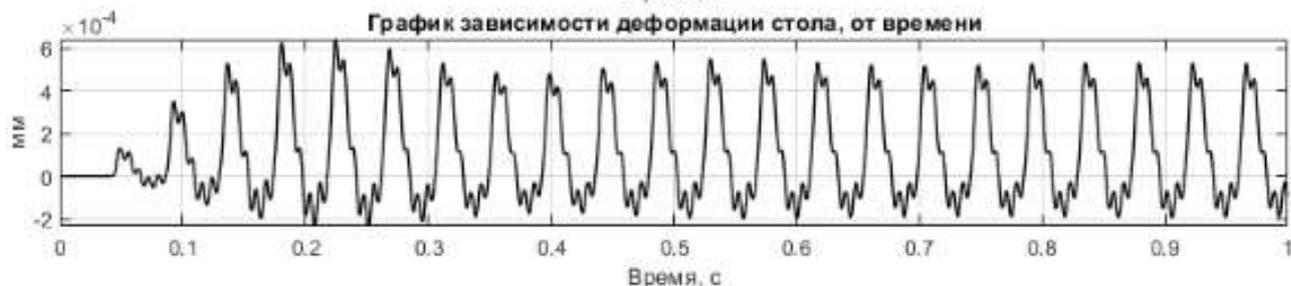
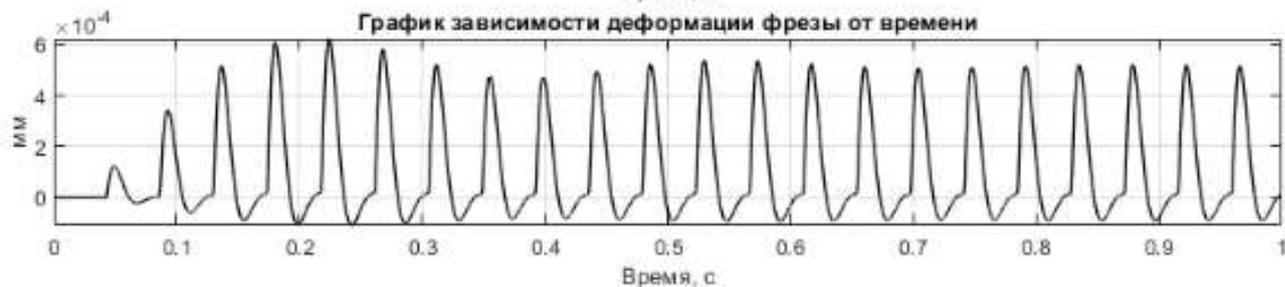
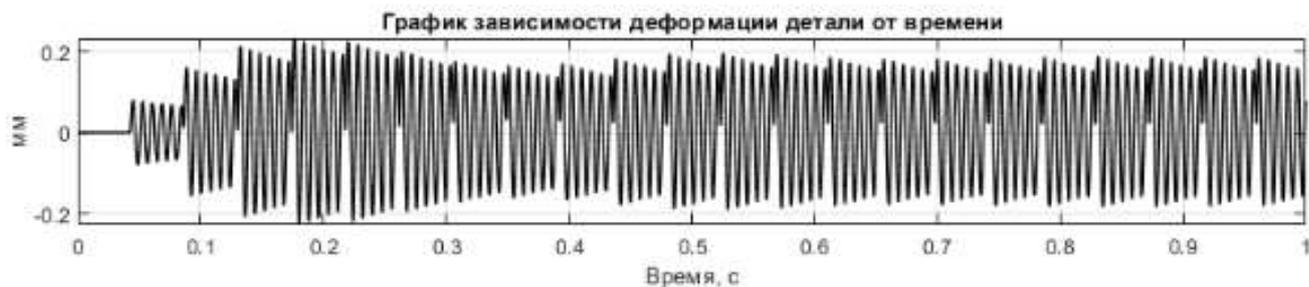
## Скорость резания 43



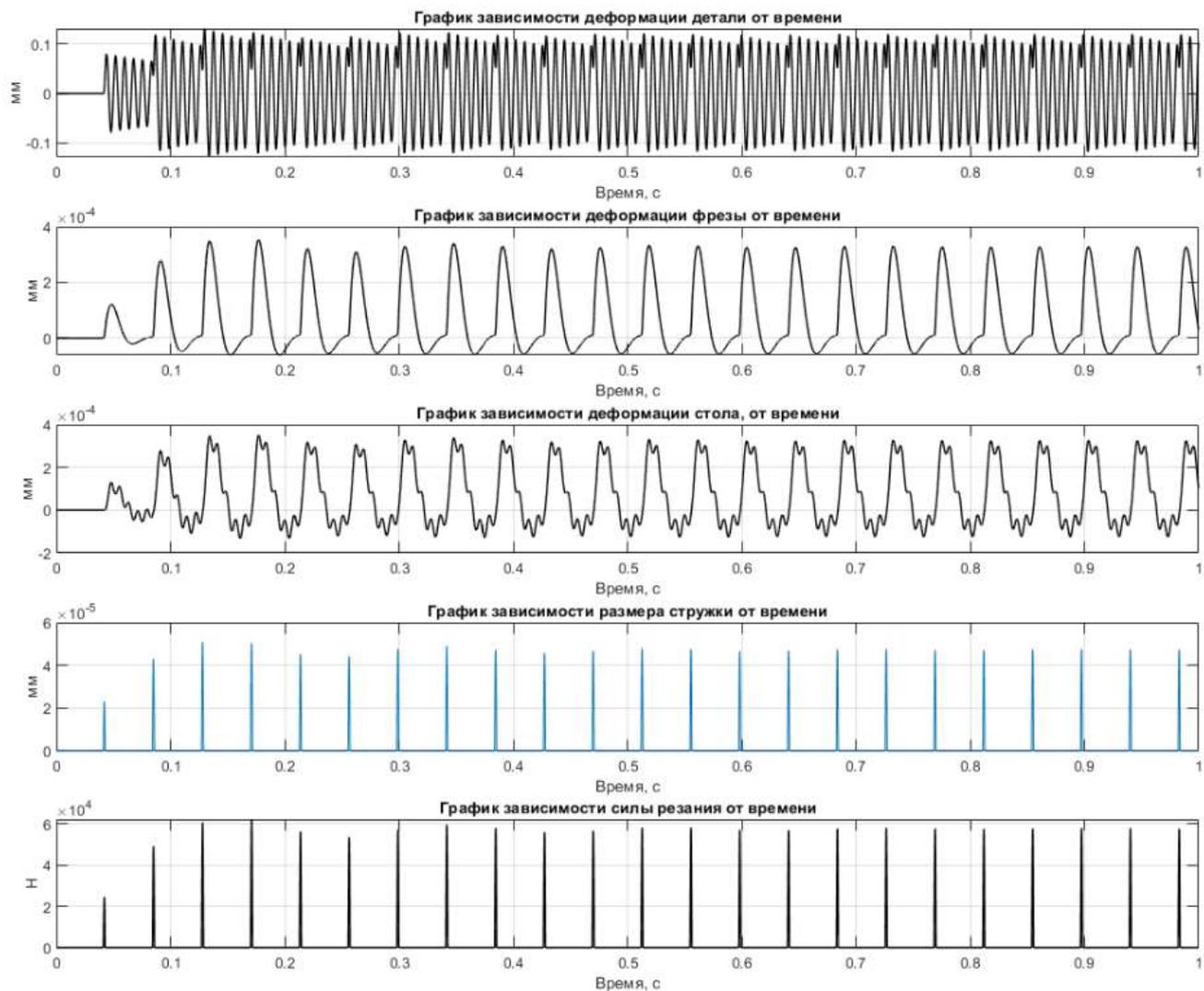
## Скорость резания 43,5



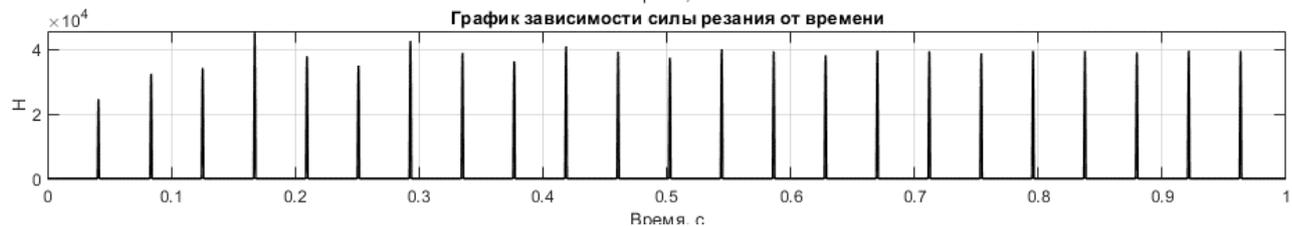
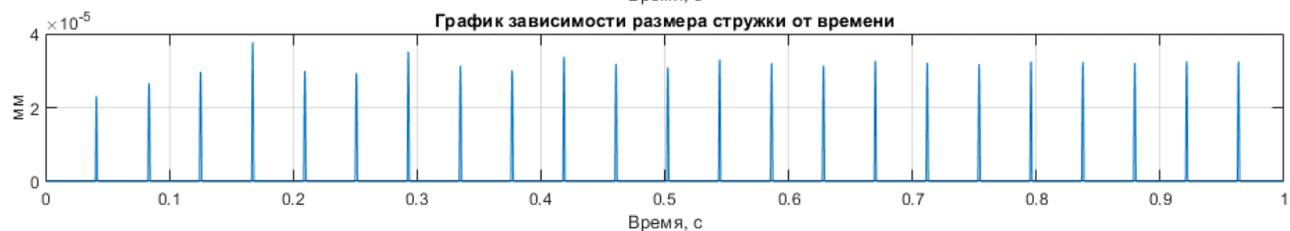
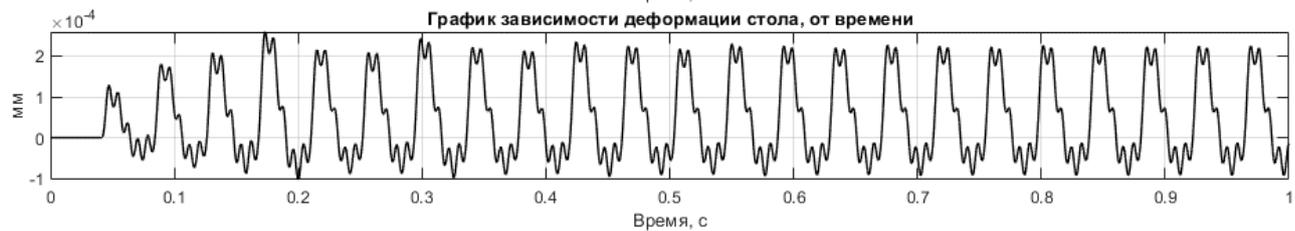
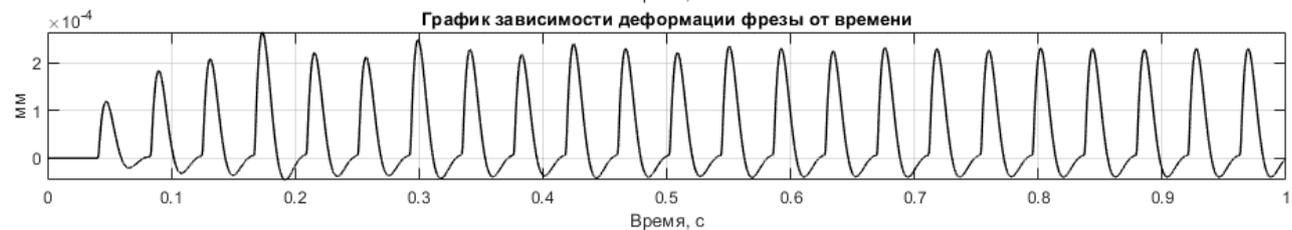
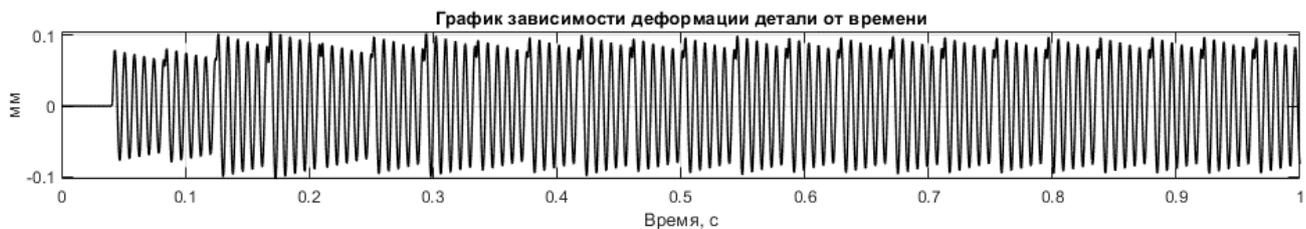
## Скорость резания 44 м/мин



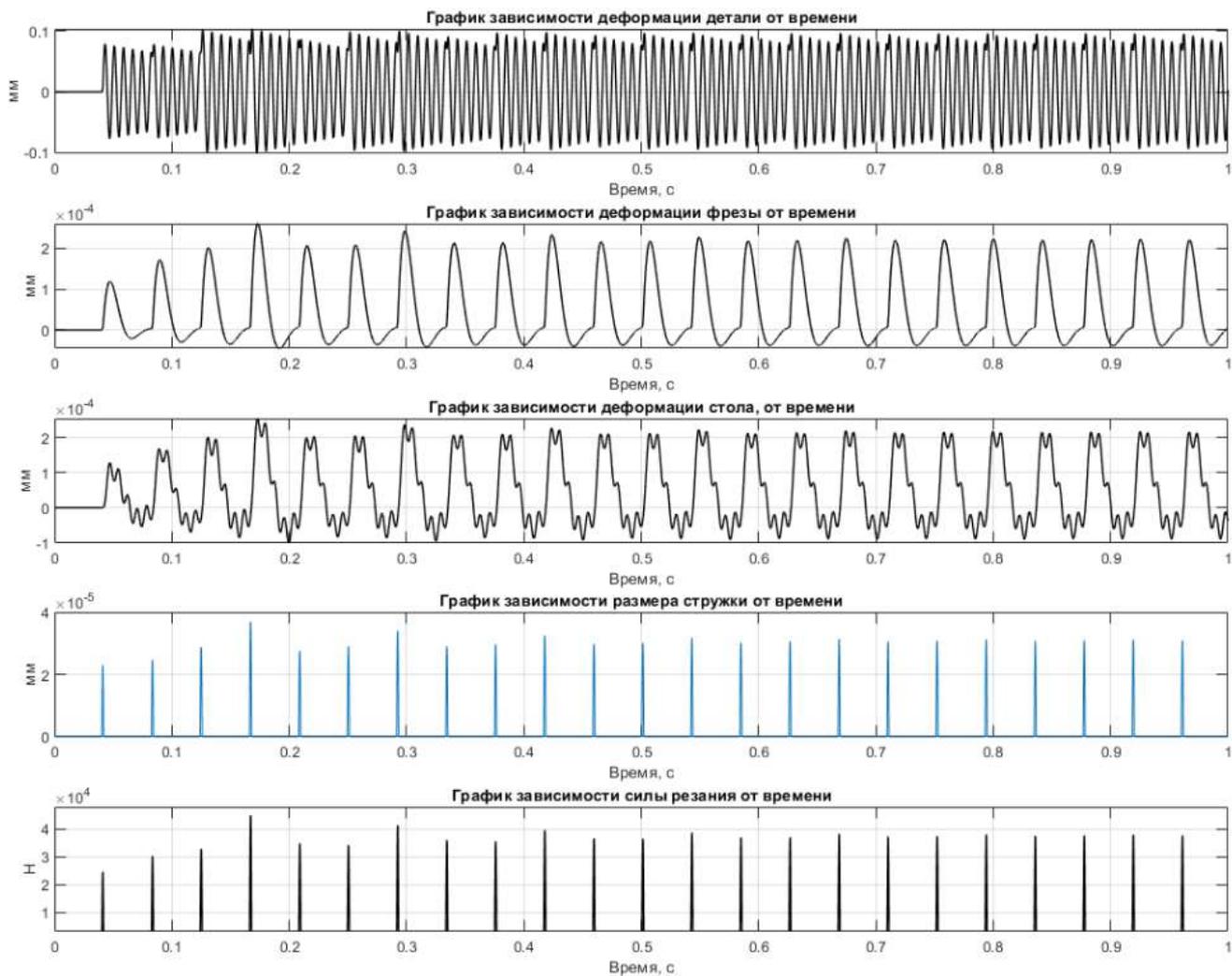
## Скорость резания 44.5 м/мин



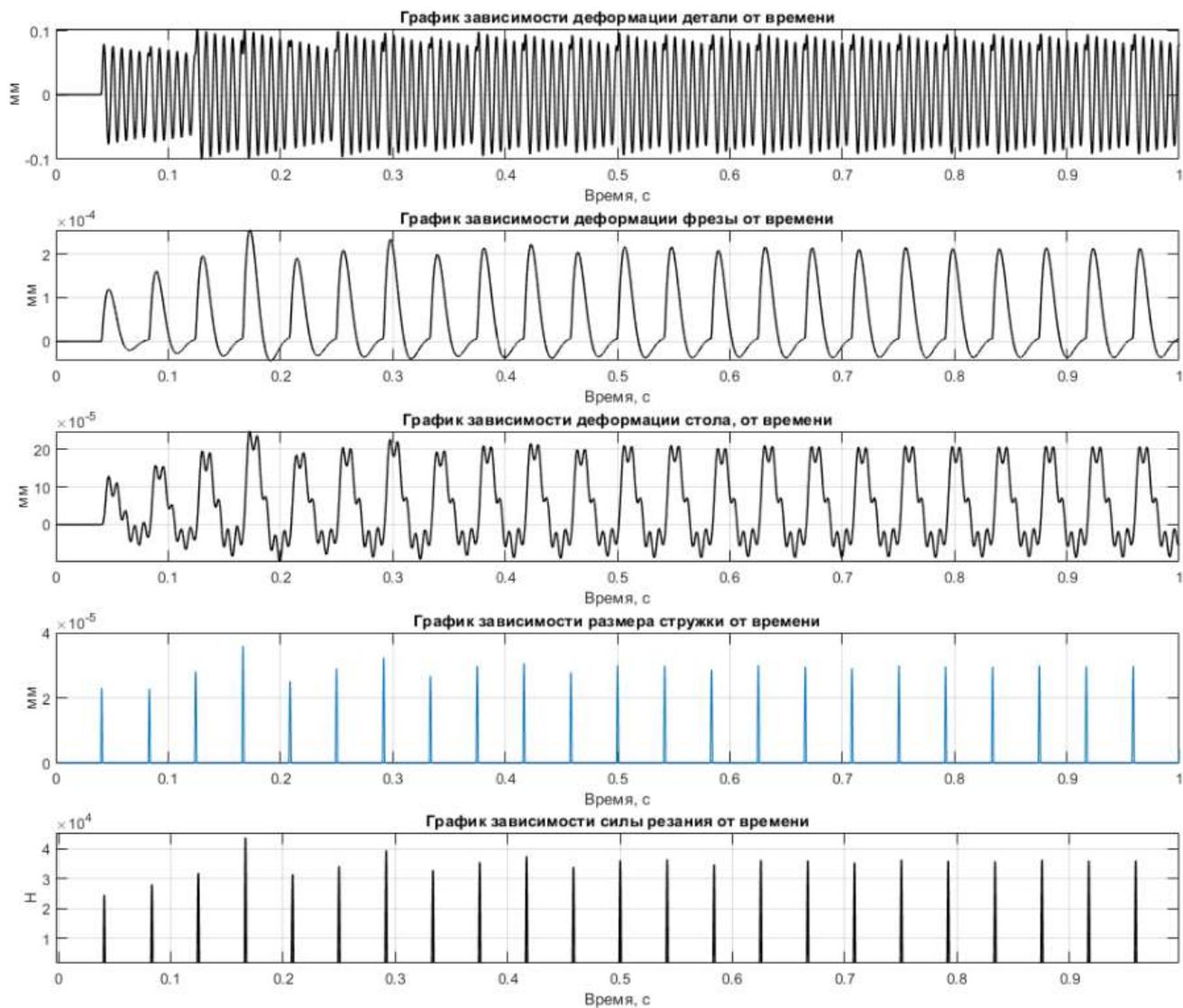
# Скорость резания 45 м/мин



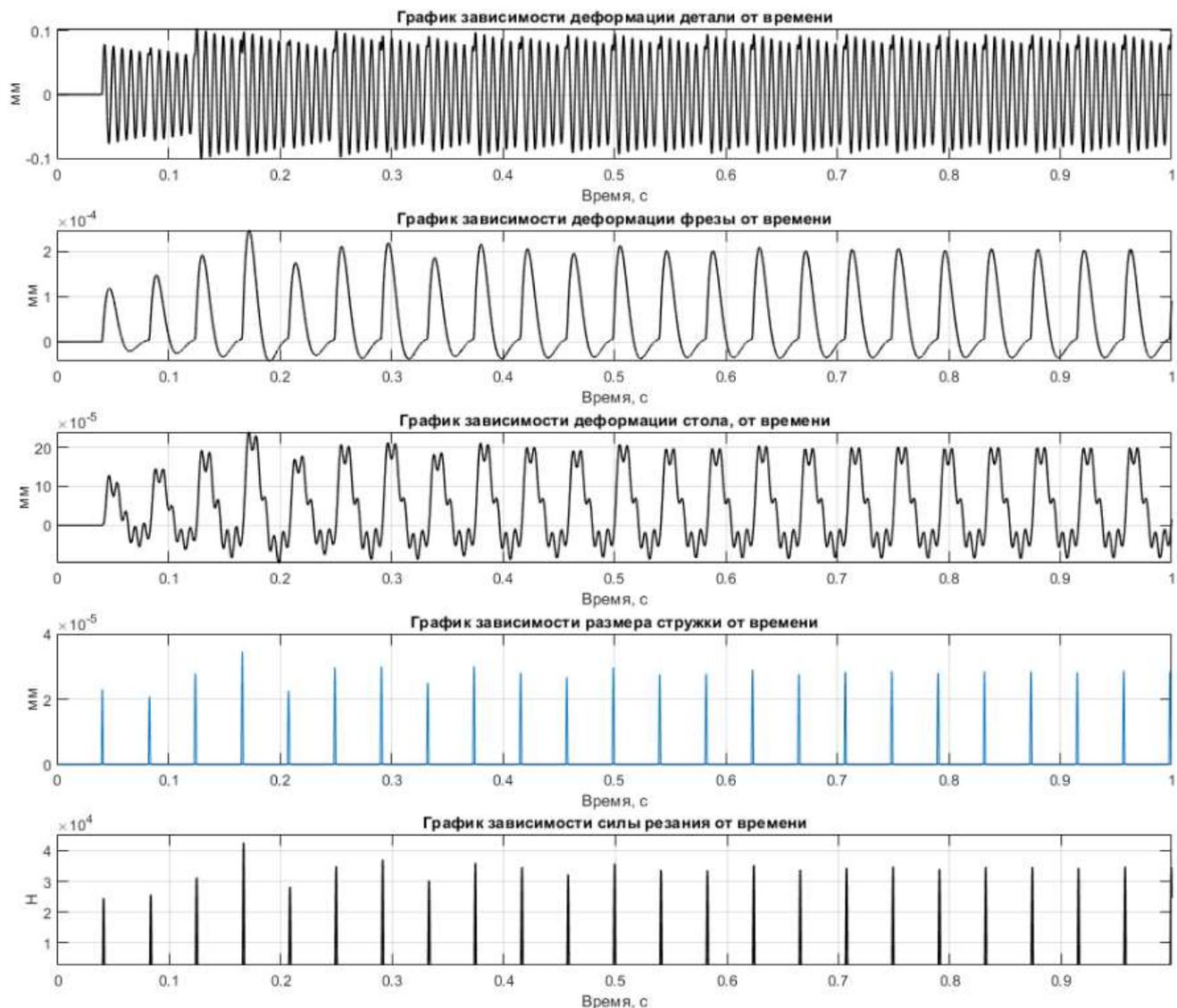
# Скорость резания 45.1м\_мин



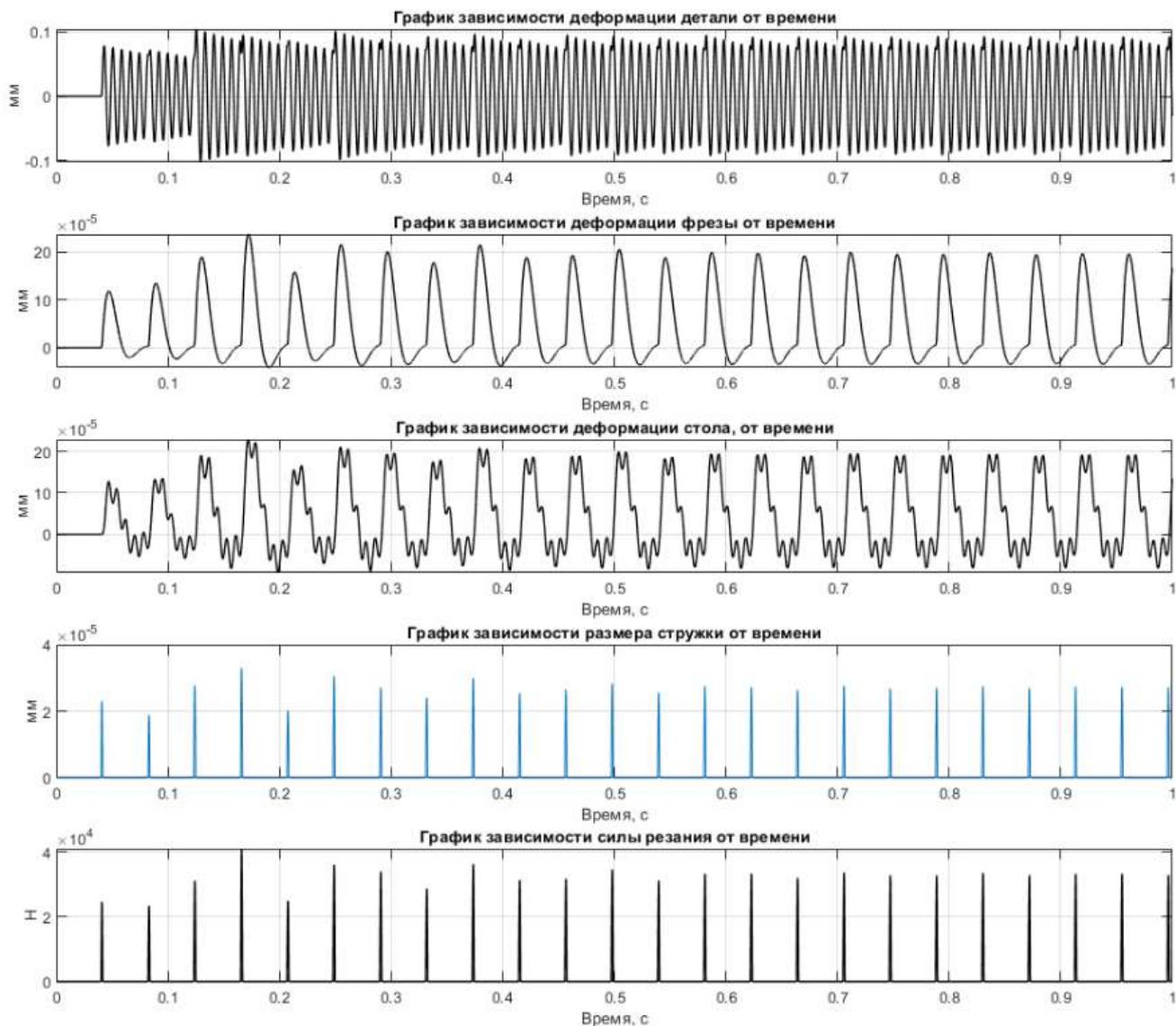
## Скорость резания 45.2 м /мин



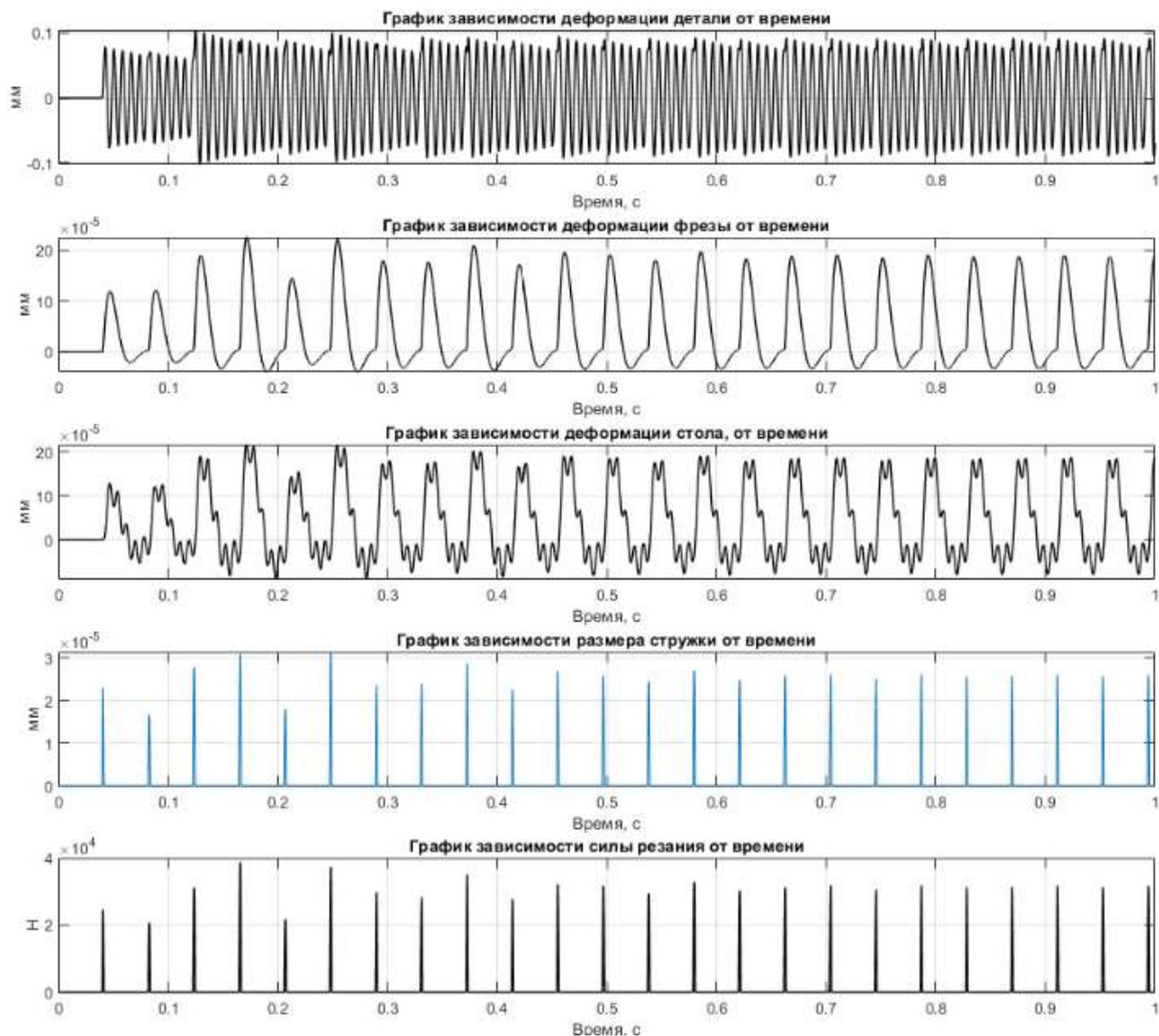
## Скорость резания 45.3 м /мин



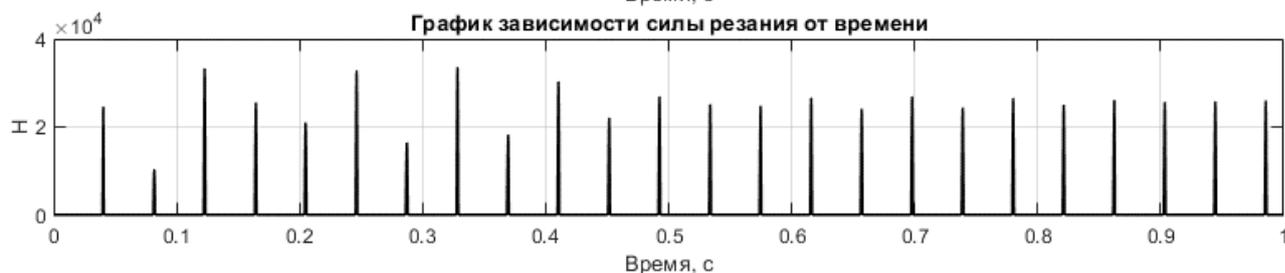
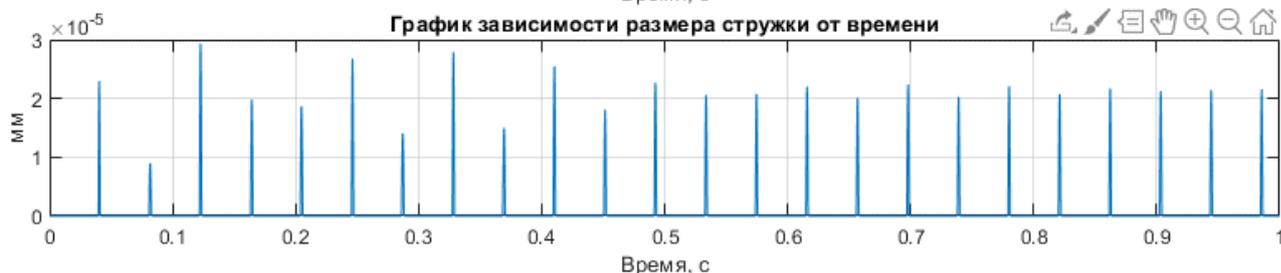
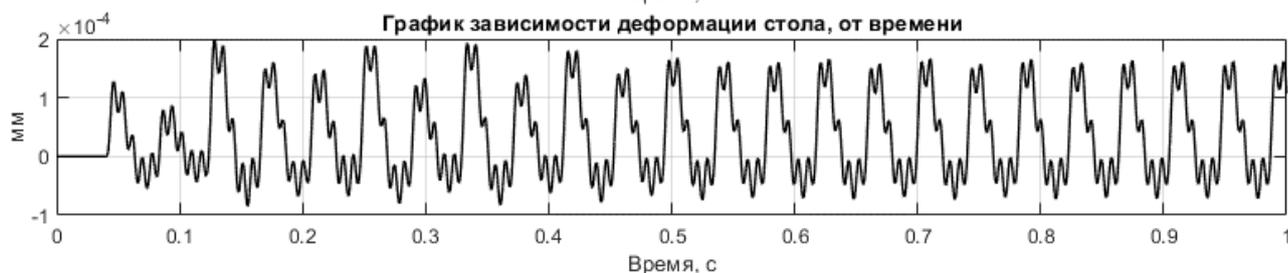
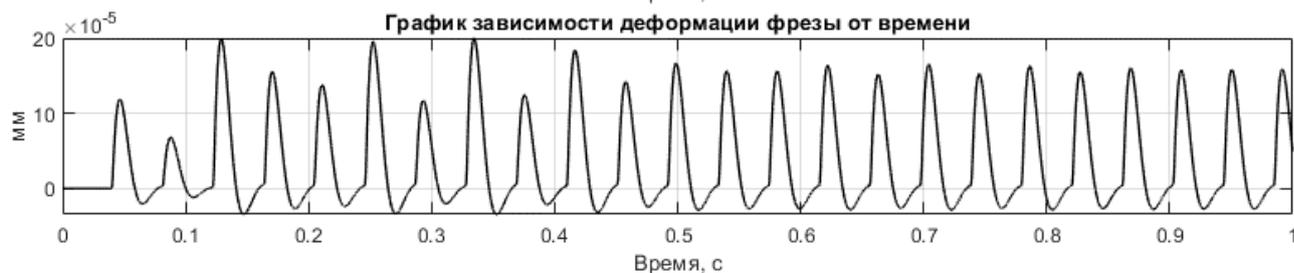
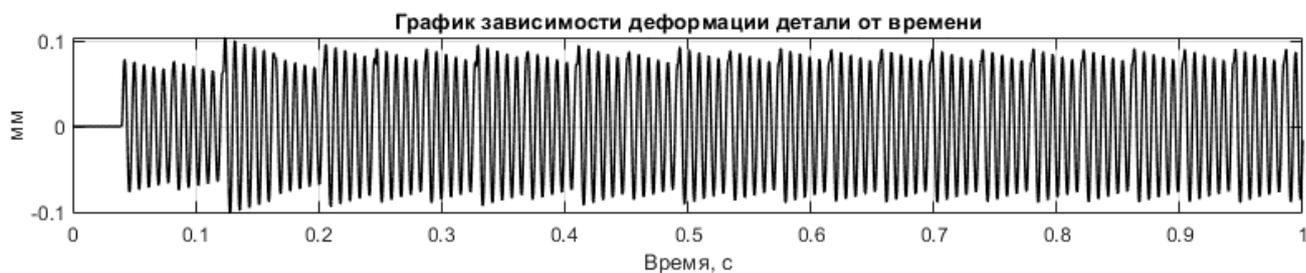
## Скорость резания 45.4 м /мин



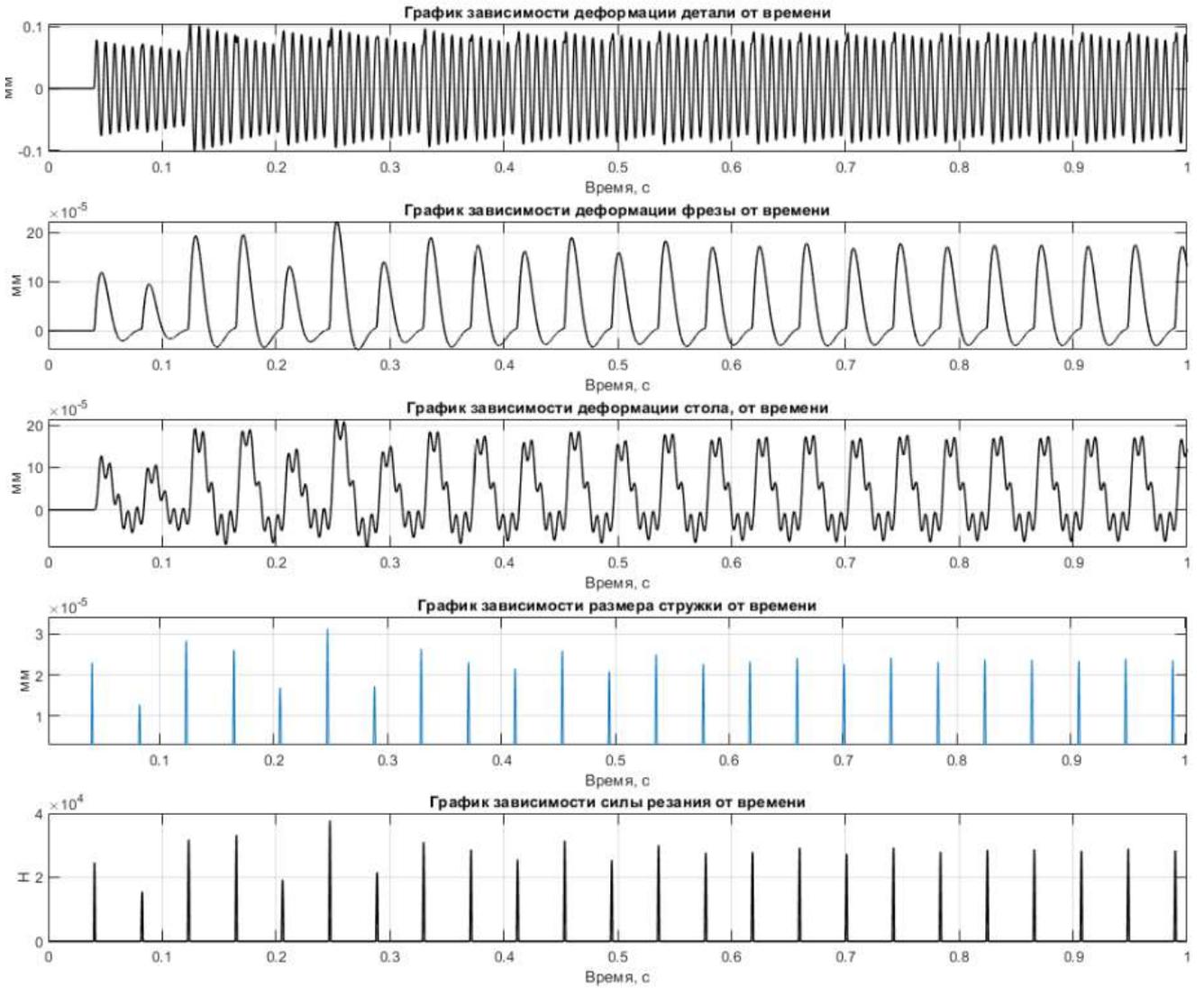
## Скорость резания 45.5 м/мин



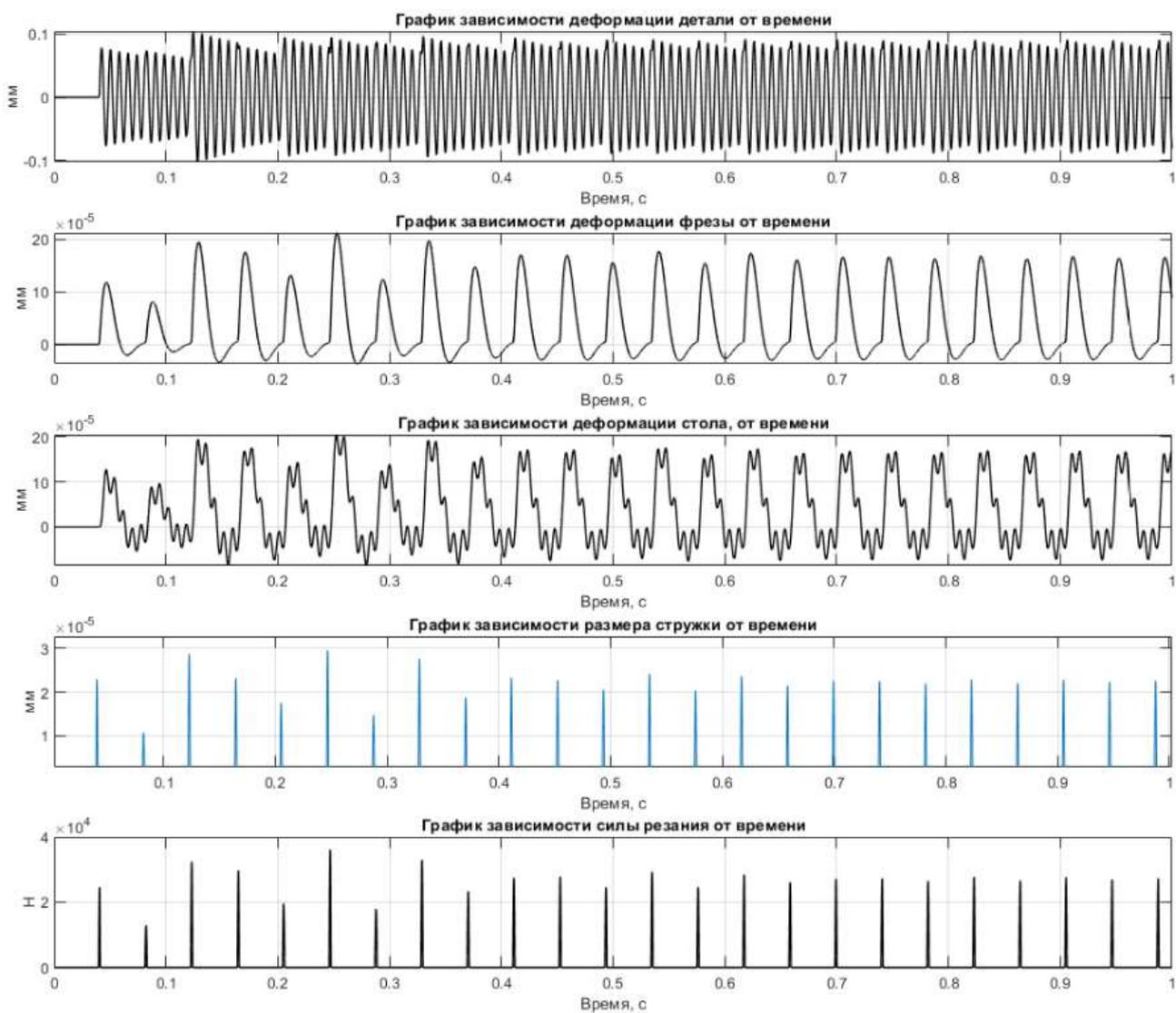
## Скорость резания 45,6 м /мин



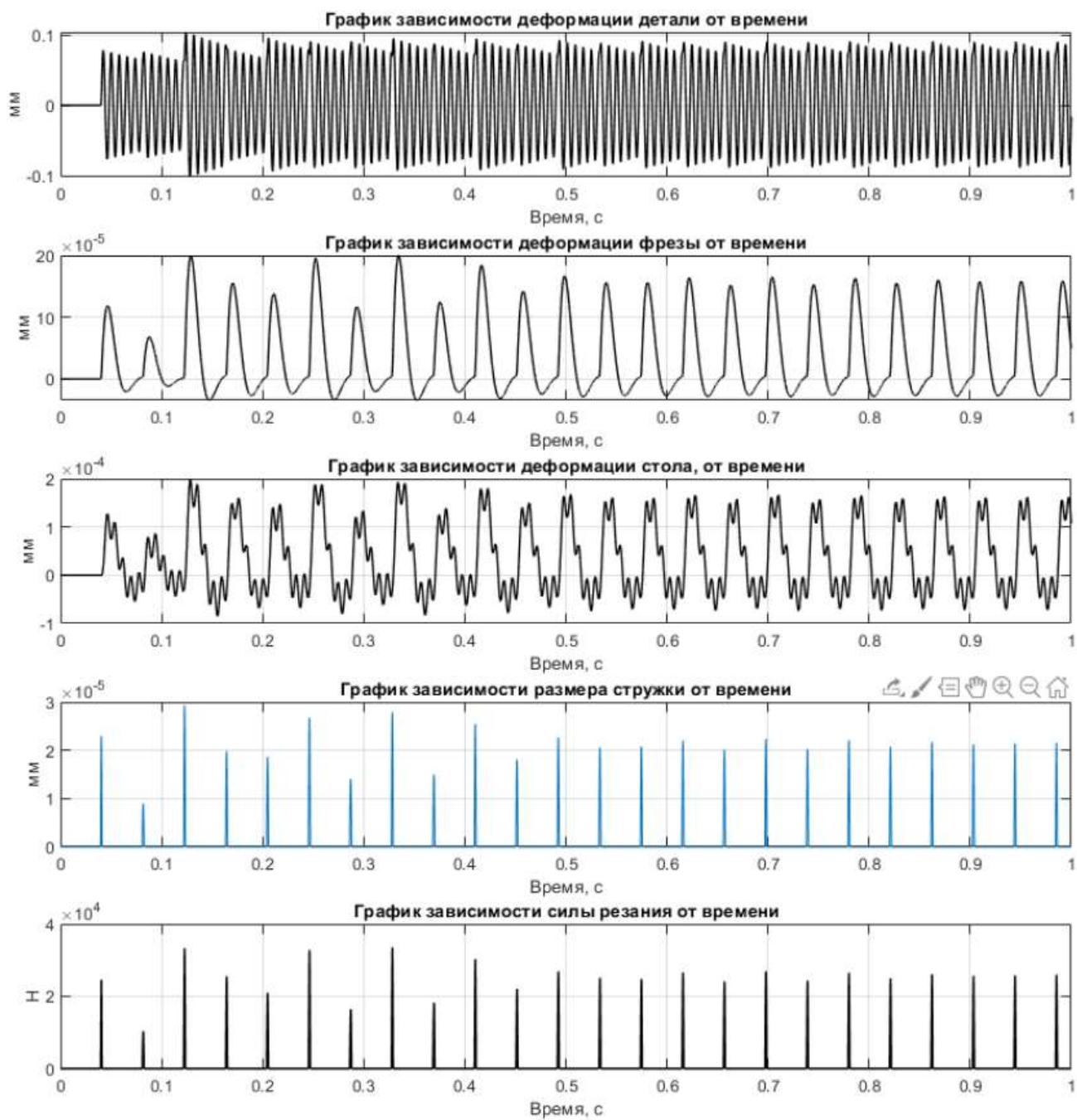
# Скорость резания 45,7 м /мин



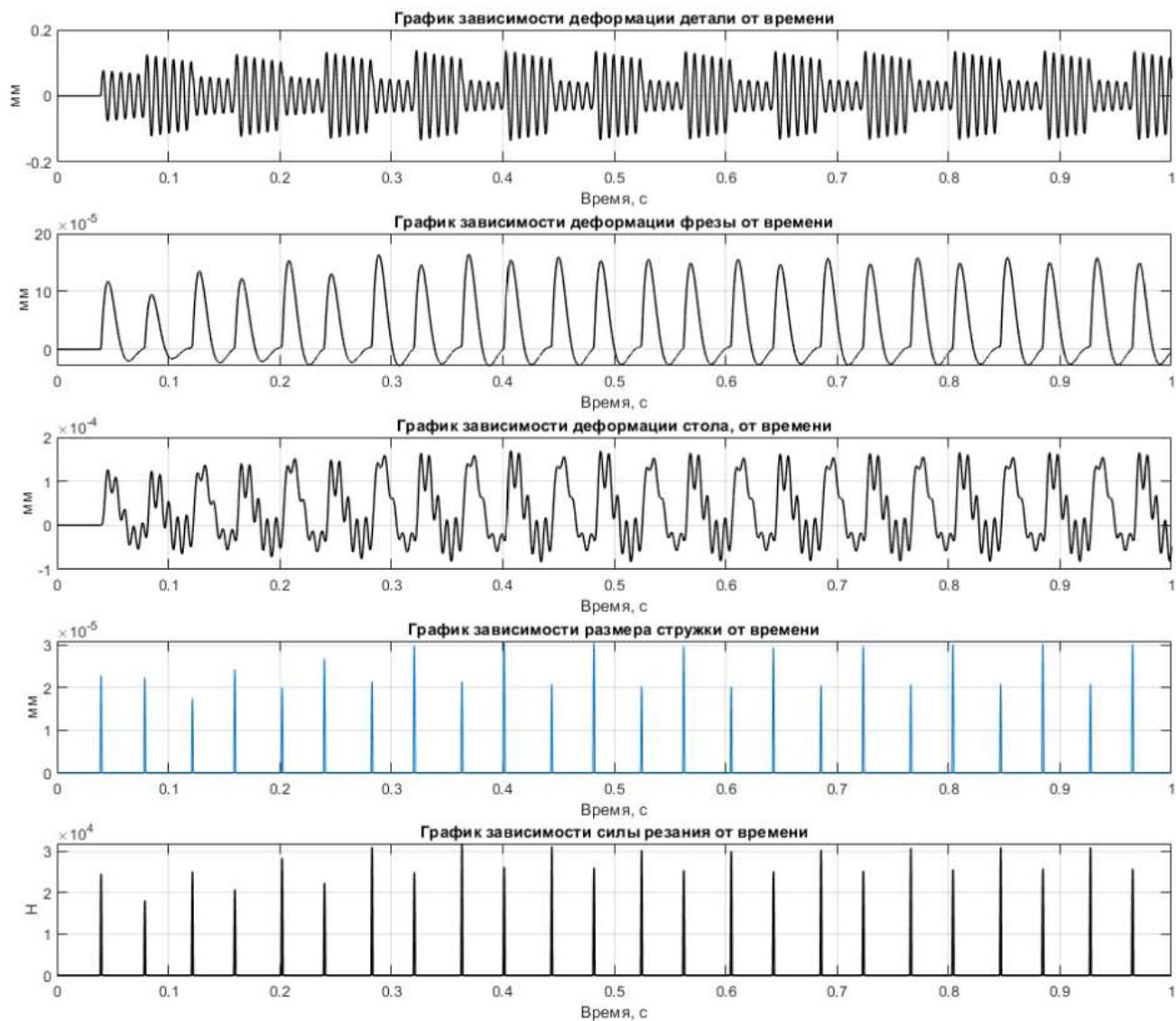
## Скорость резания 45,8 м /мин



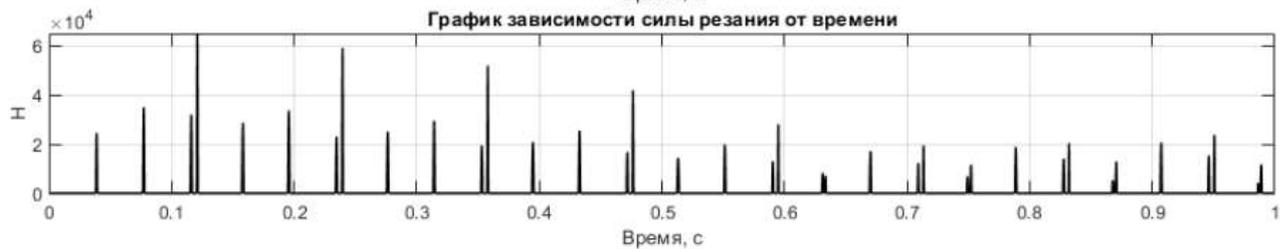
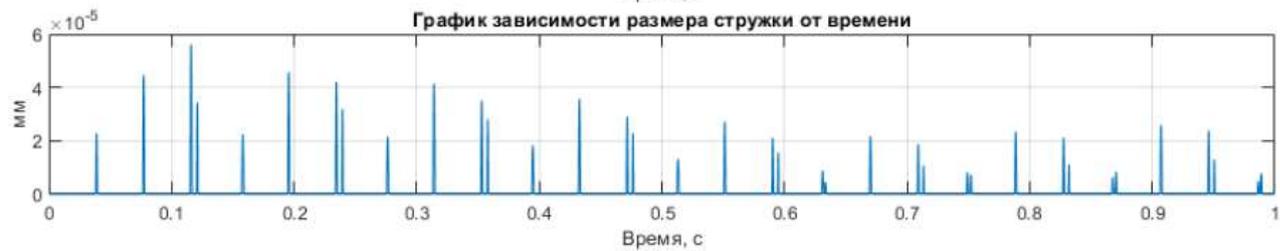
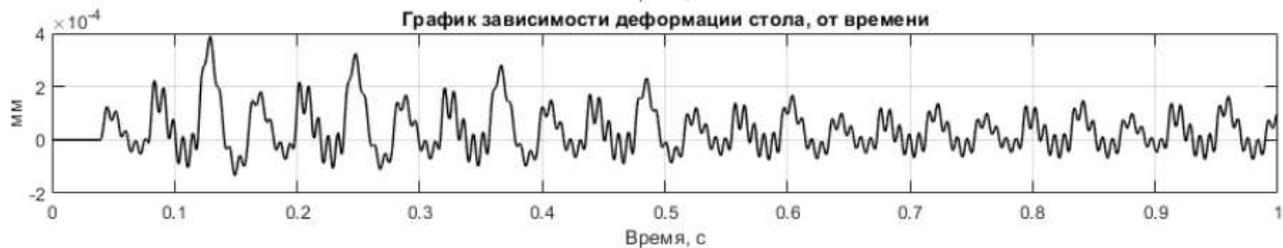
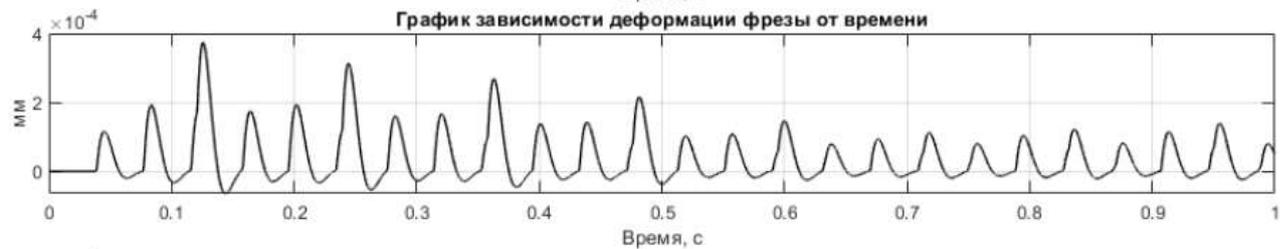
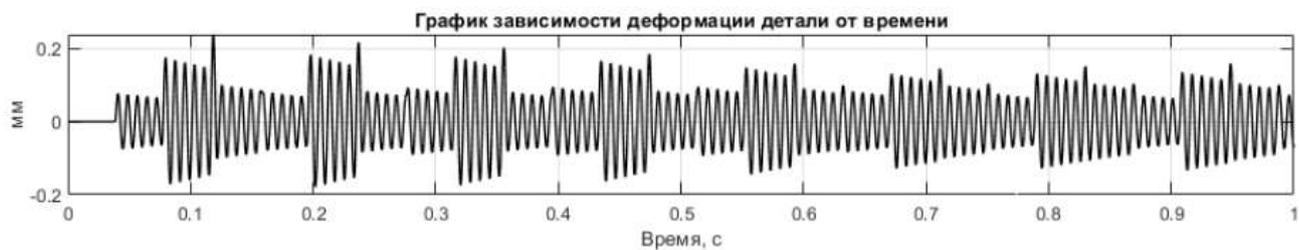
## Скорость резания 46 м /мин



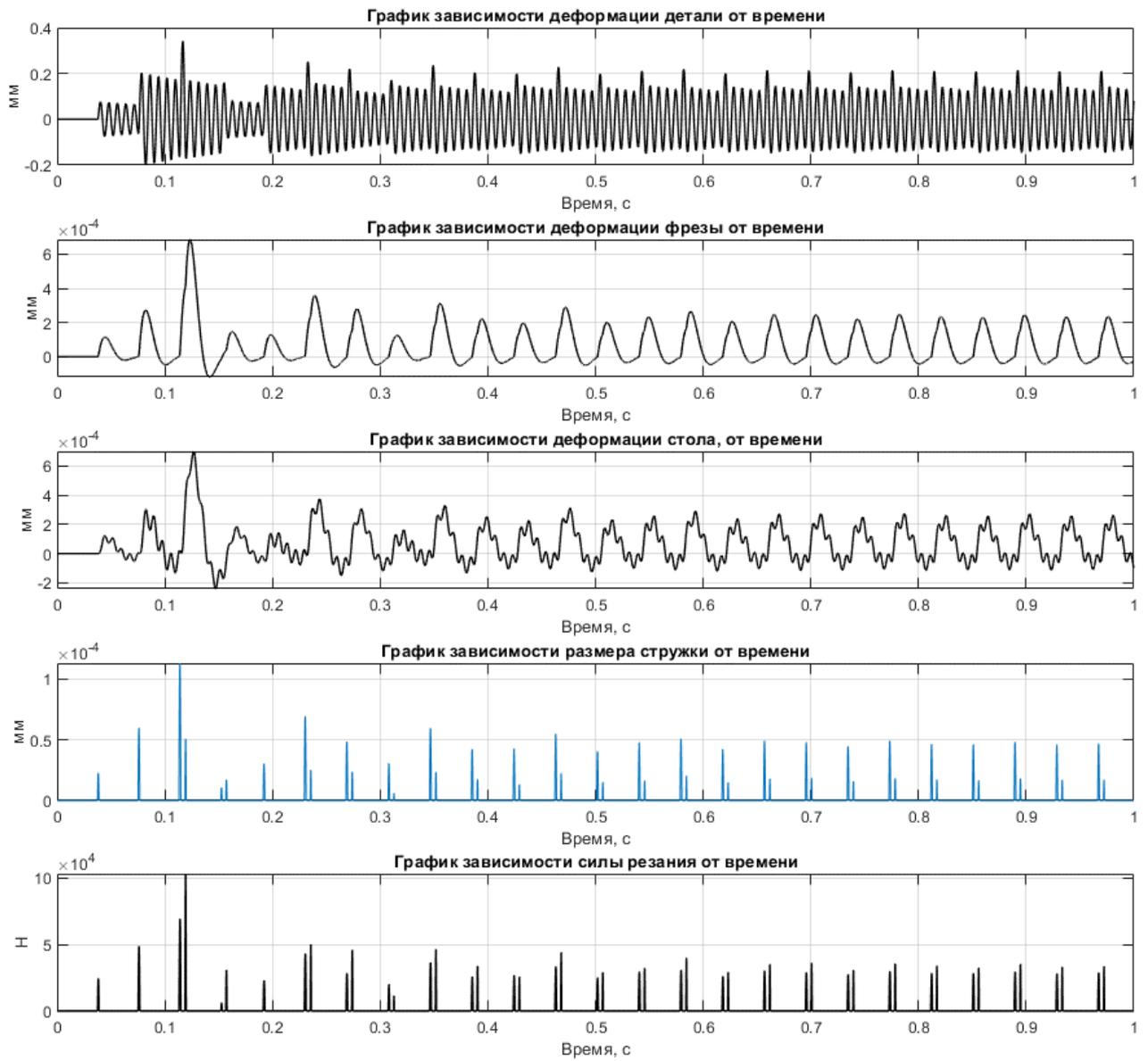
## Скорость резания 47 м /мин



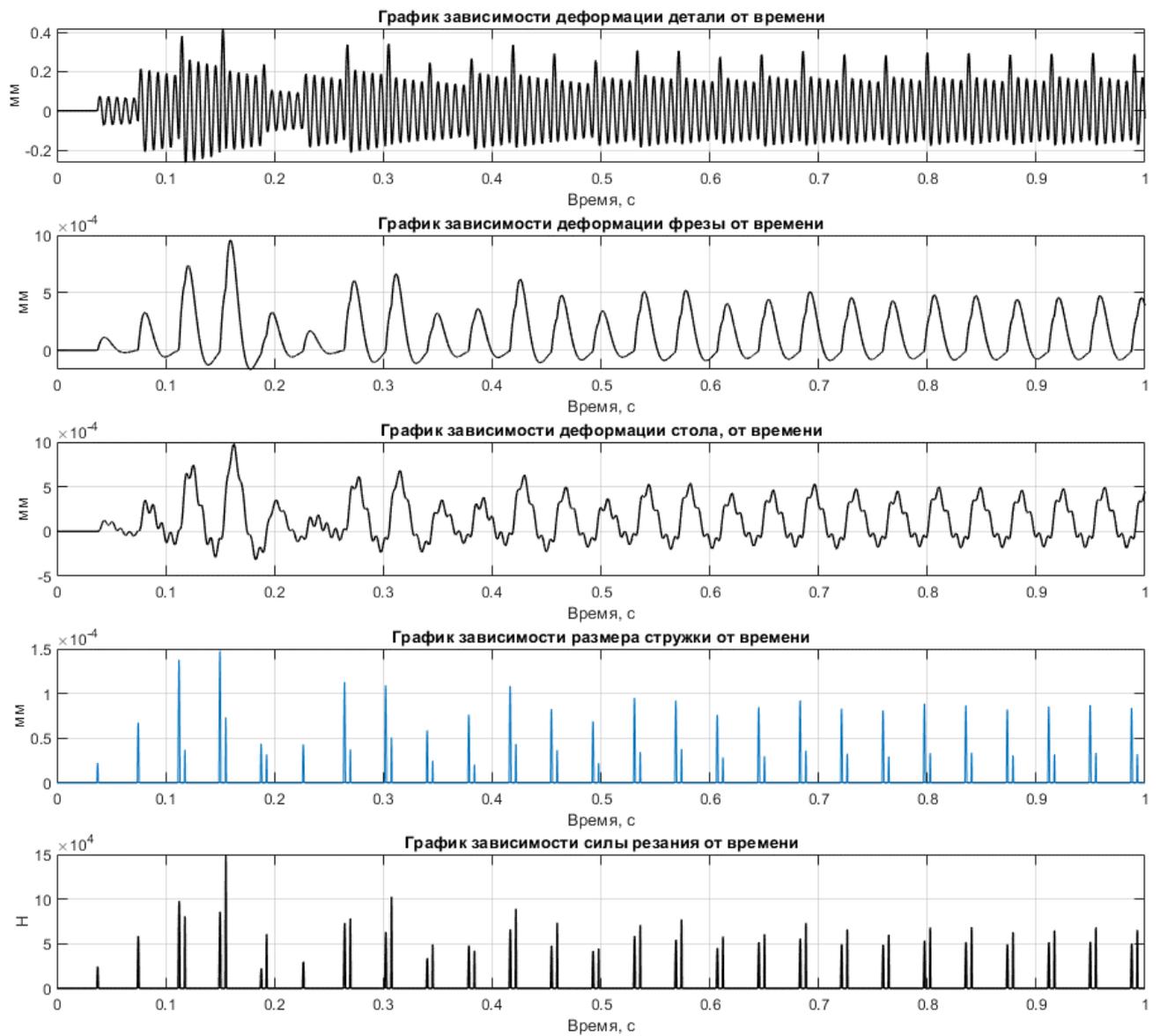
## Скорость резания 48 м /мин



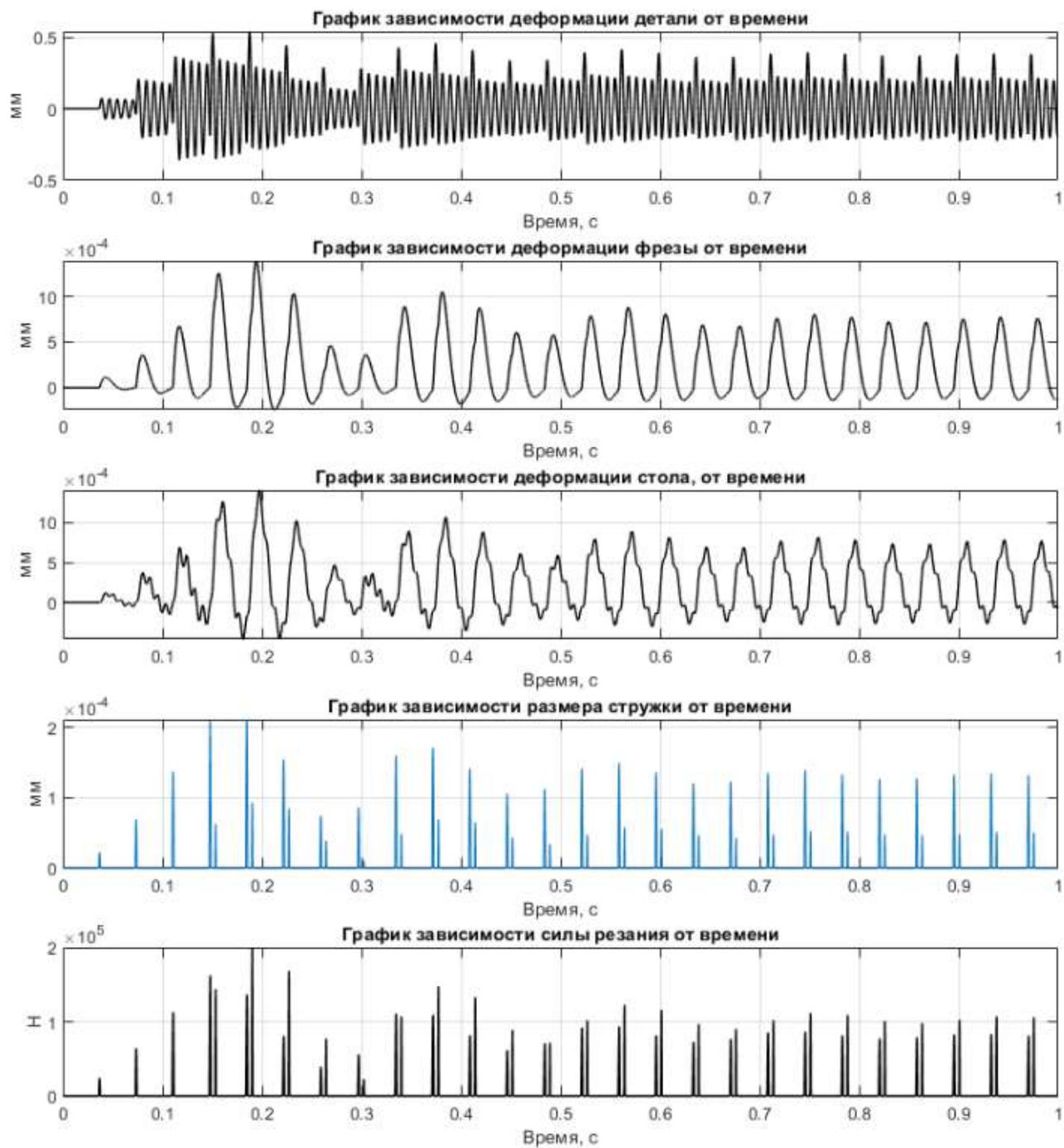
# Скорость резания 49 м /мин



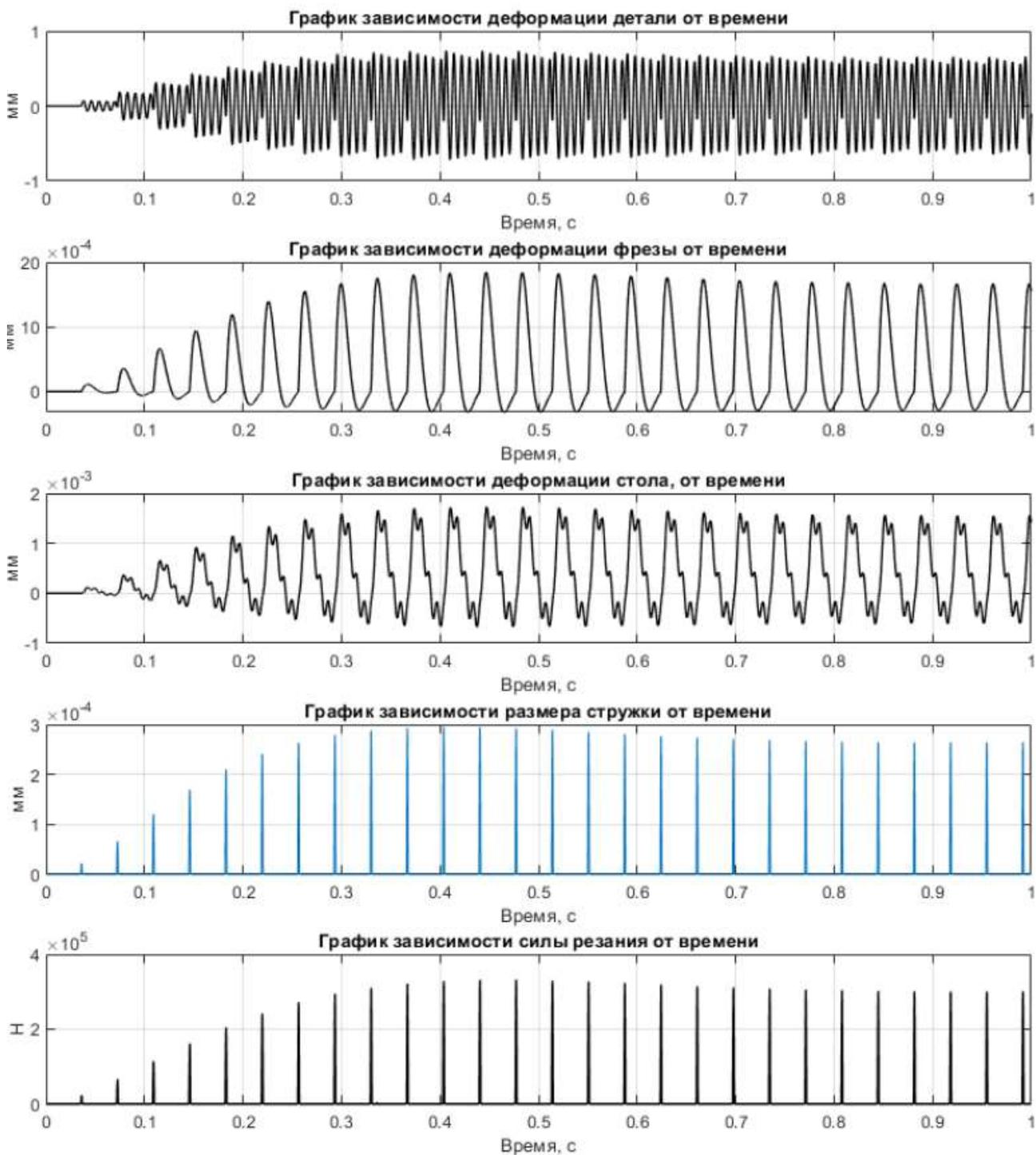
## Скорость резания 50 м /мин



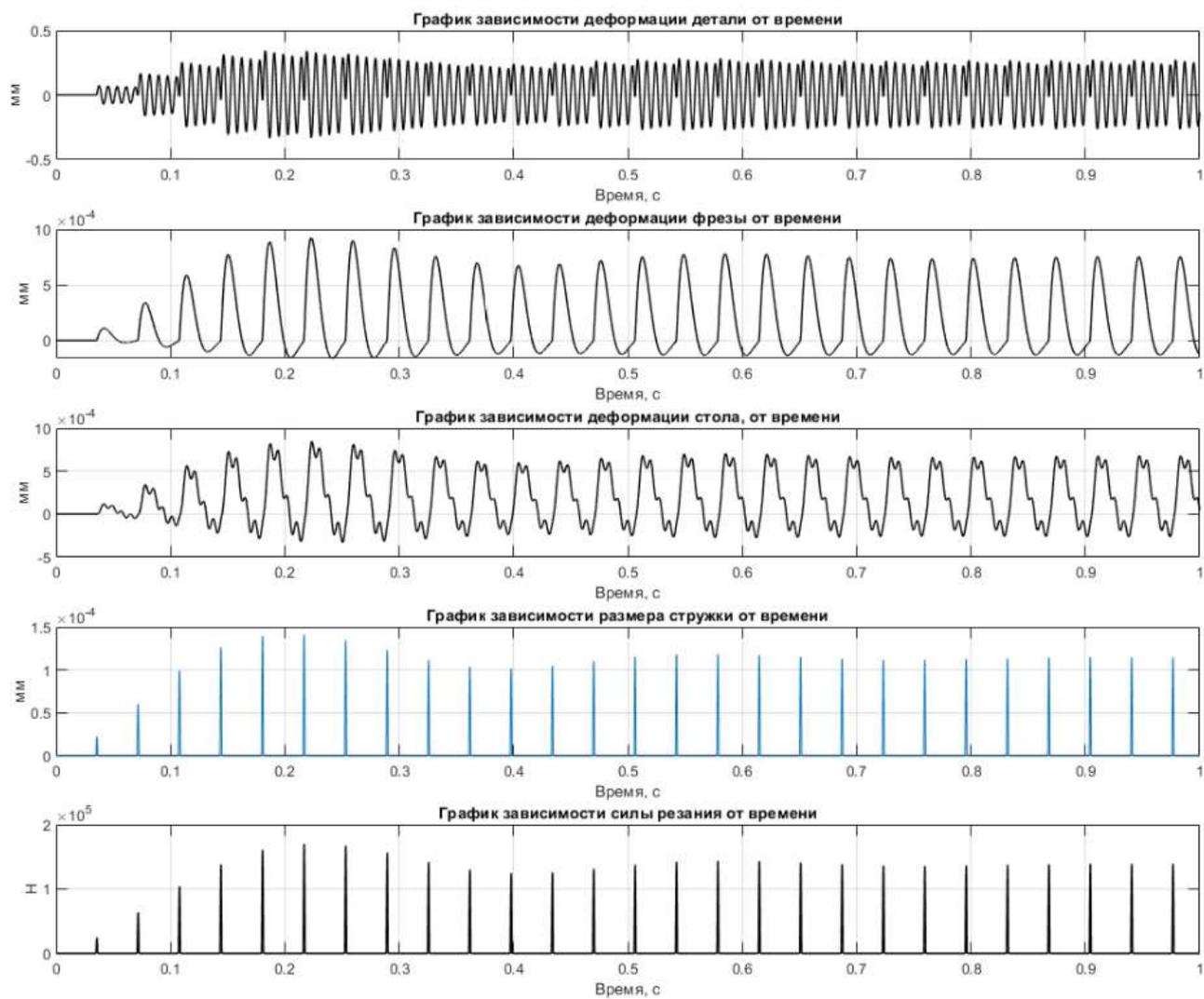
## Скорость резания 51 м /мин



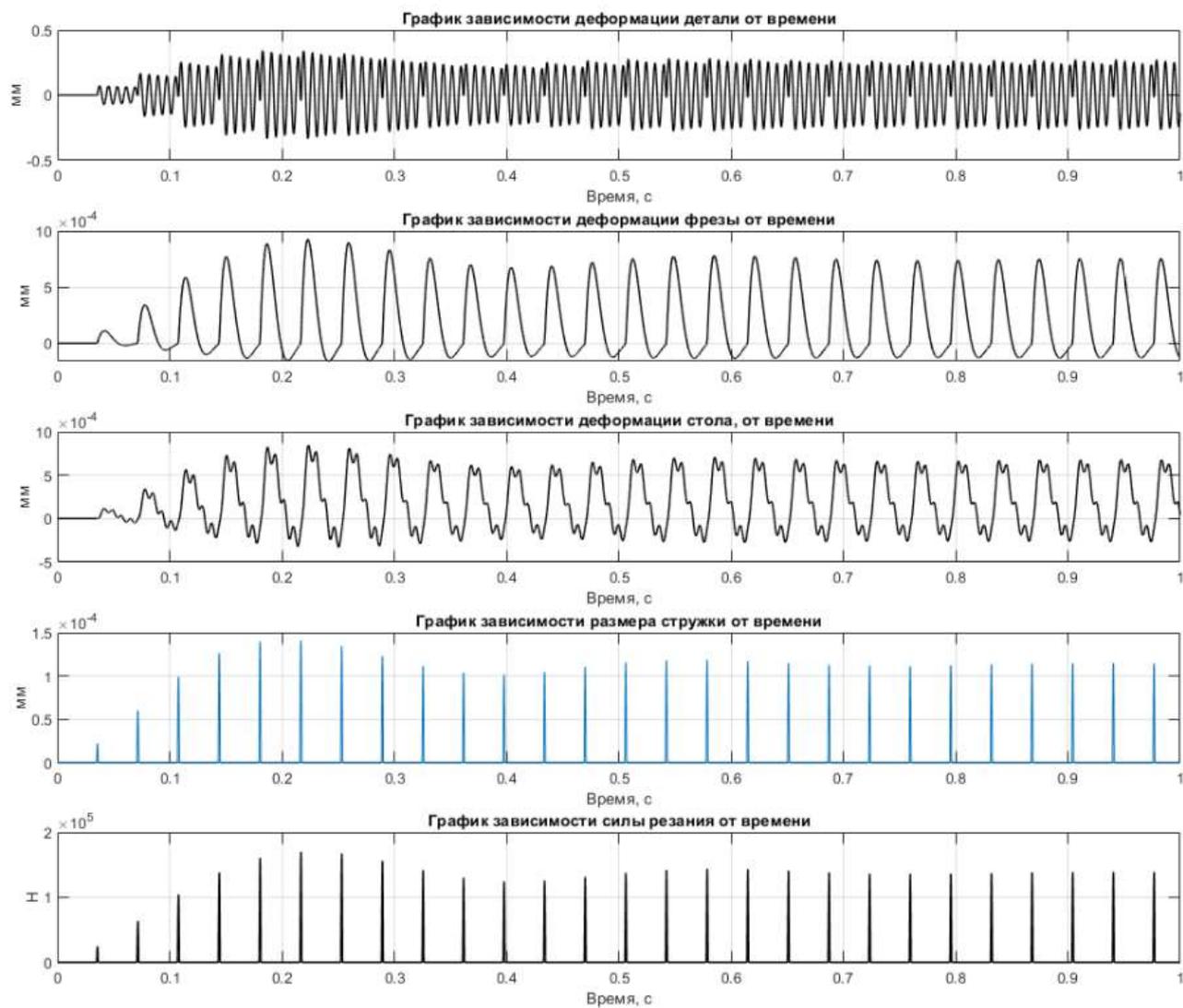
## Скорость резания 52 м /мин



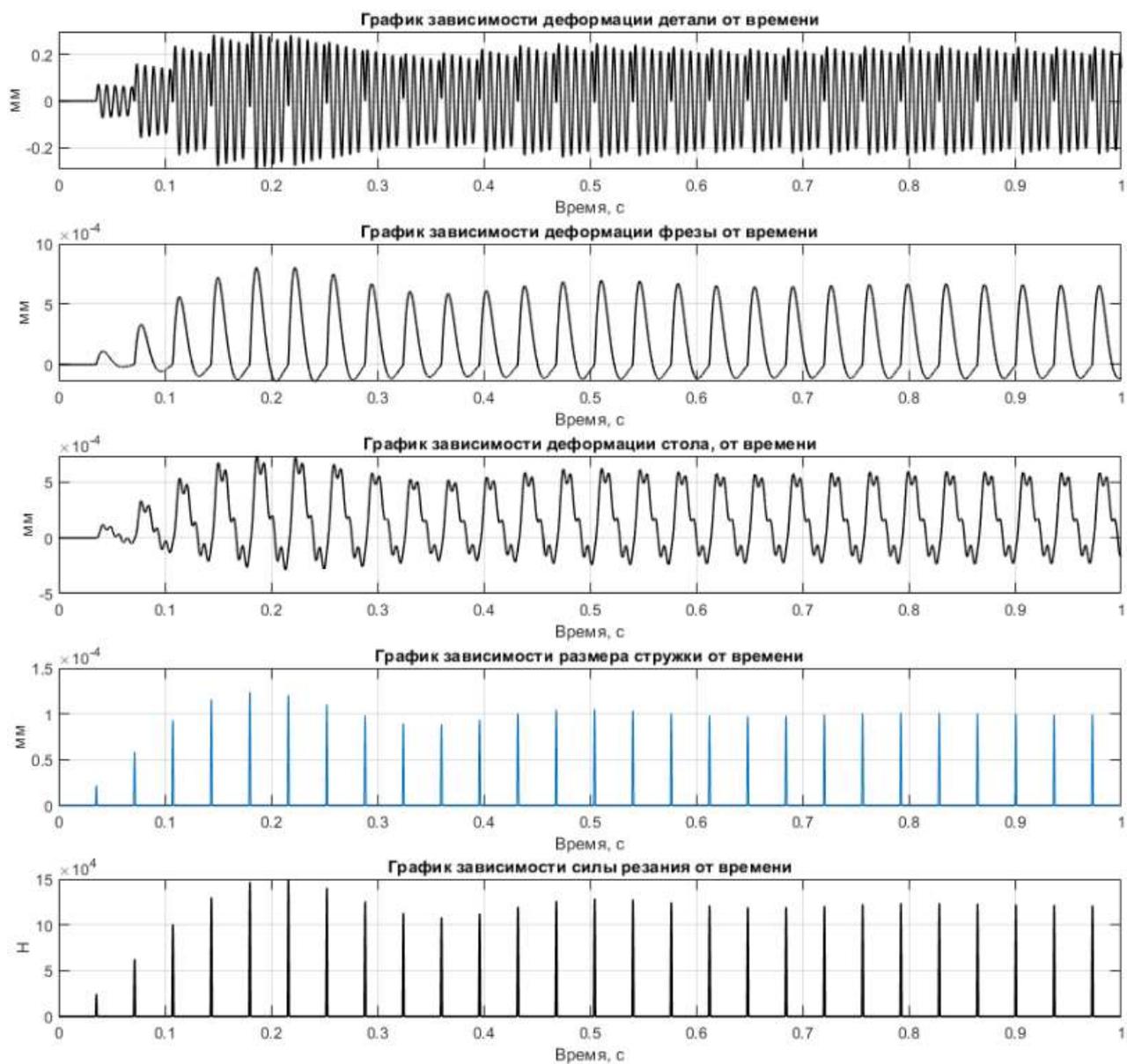
## Скорость резания 52,1 м /мин



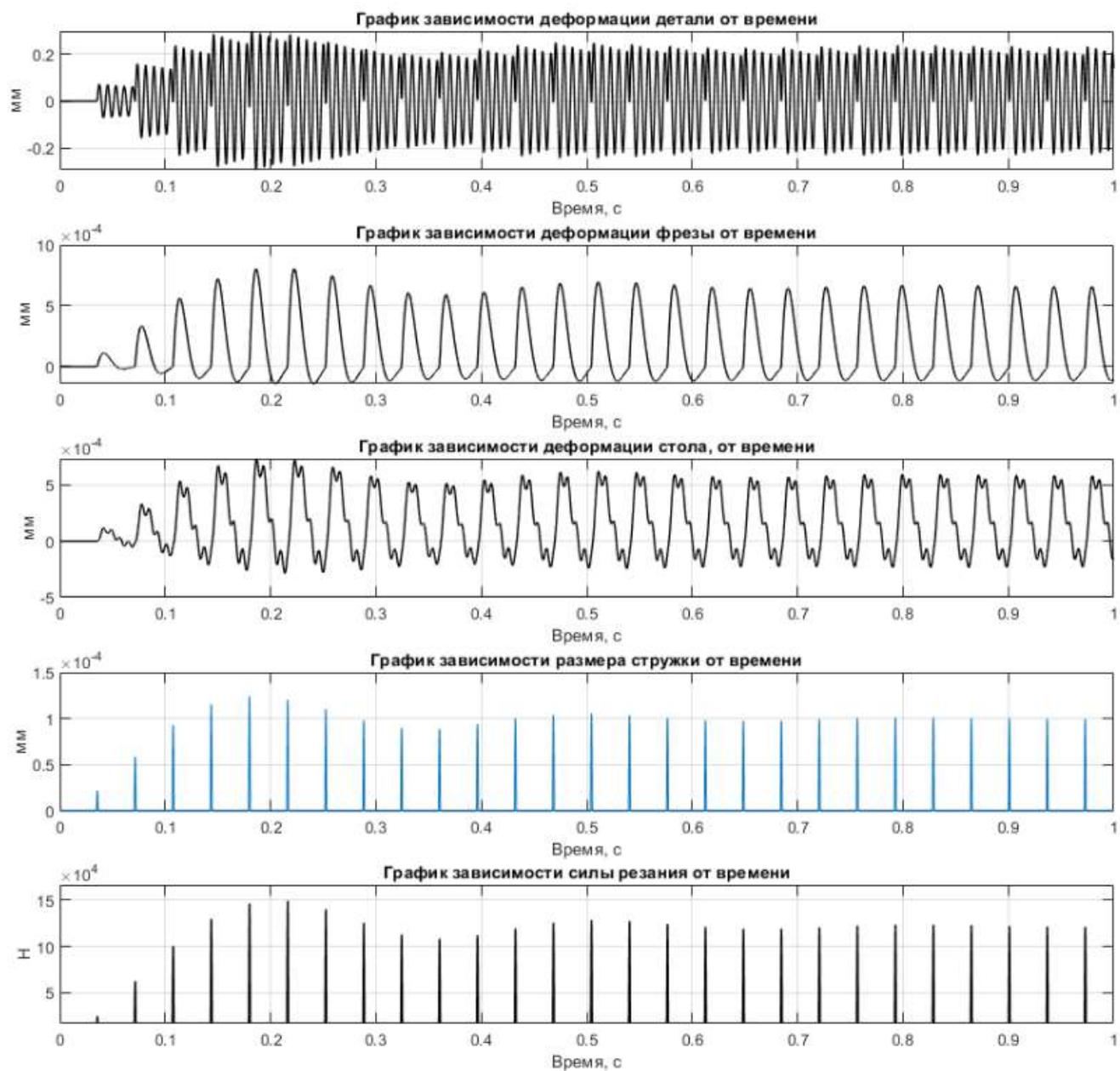
## Скорость резания 52,2 м /мин



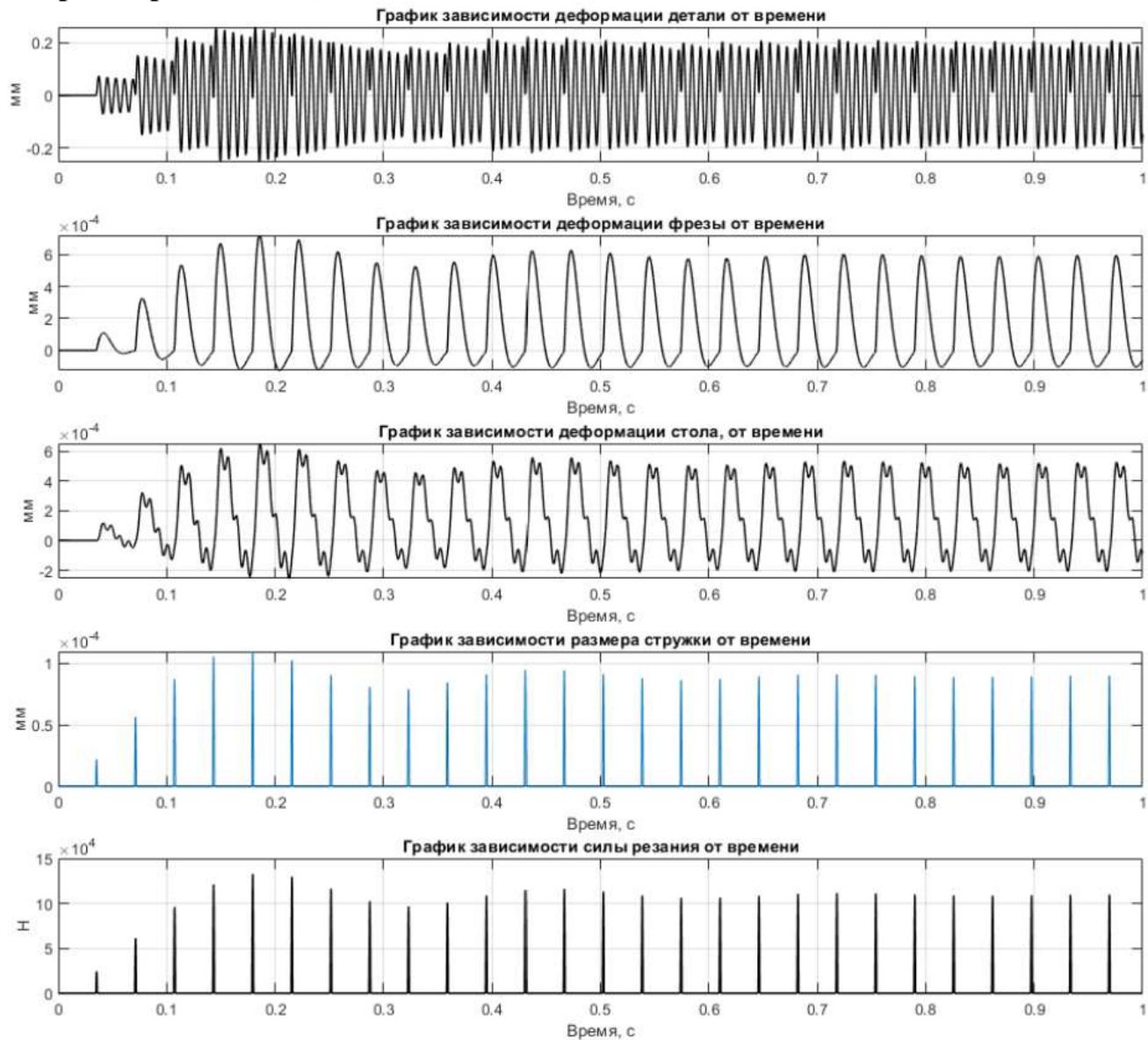
## Скорость резания 52,3 м /мин



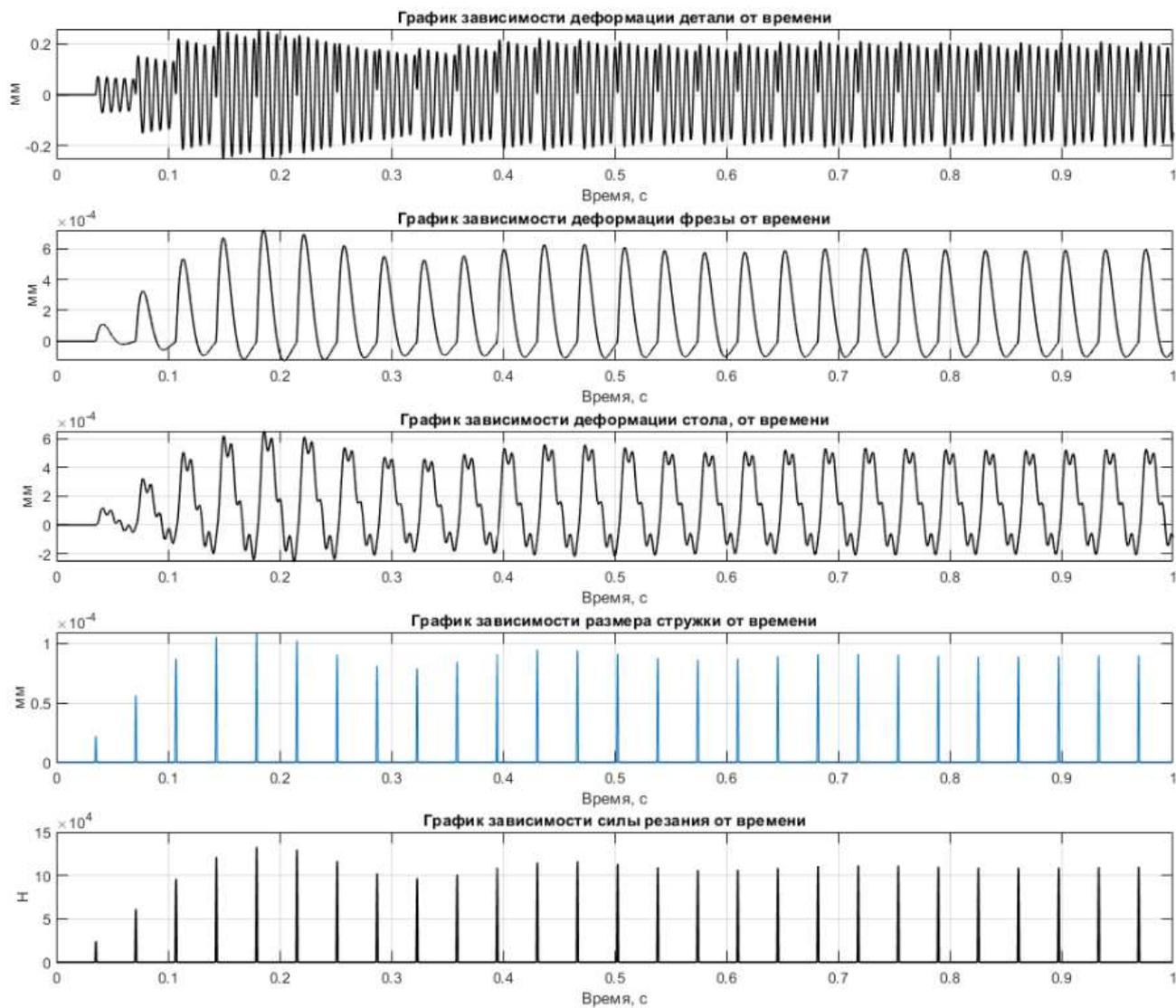
## Скорость резания 52,4 м /мин



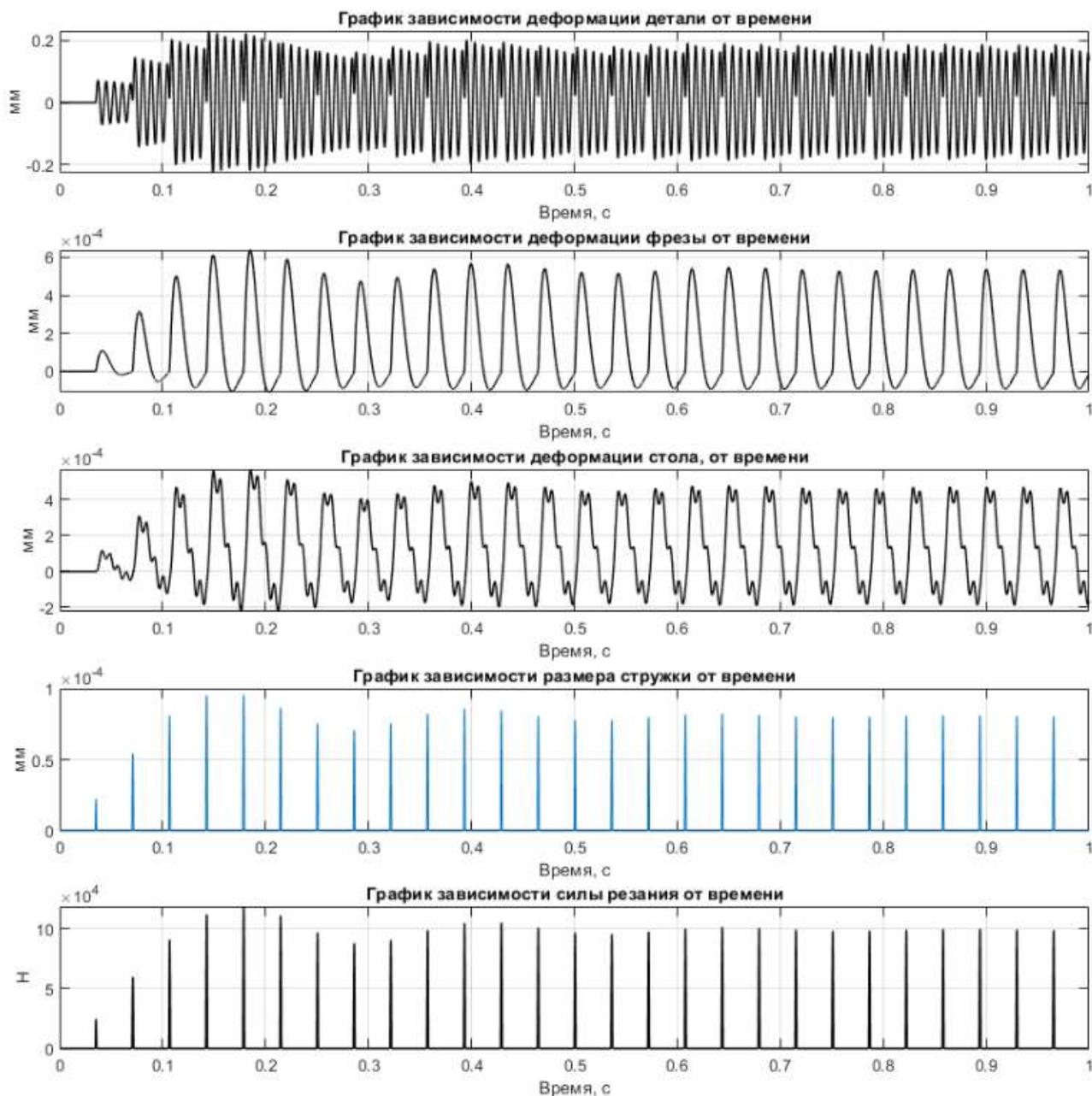
## Скорость резания 52,5 м /мин



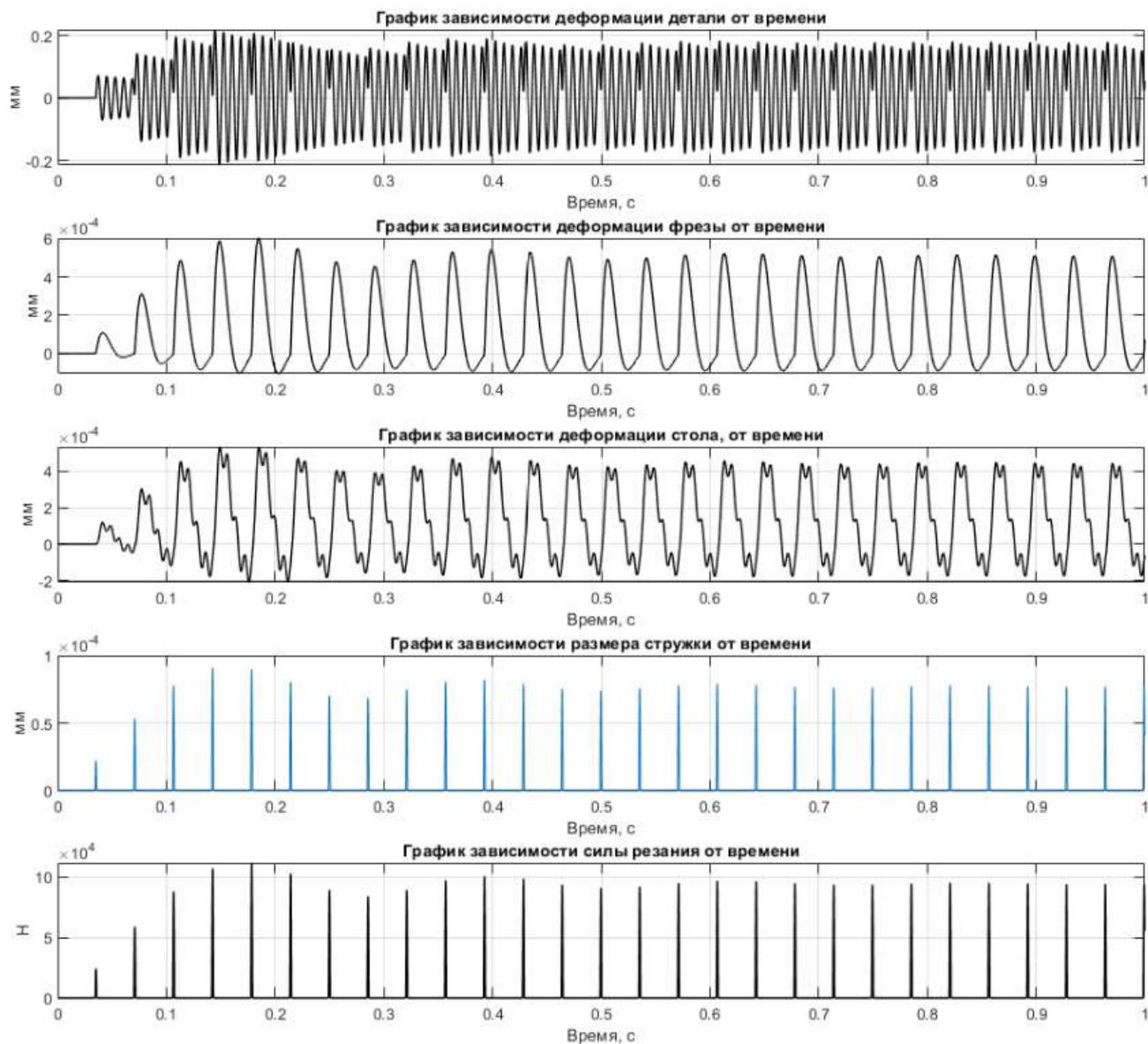
## Скорость резания 52,6 м /мин



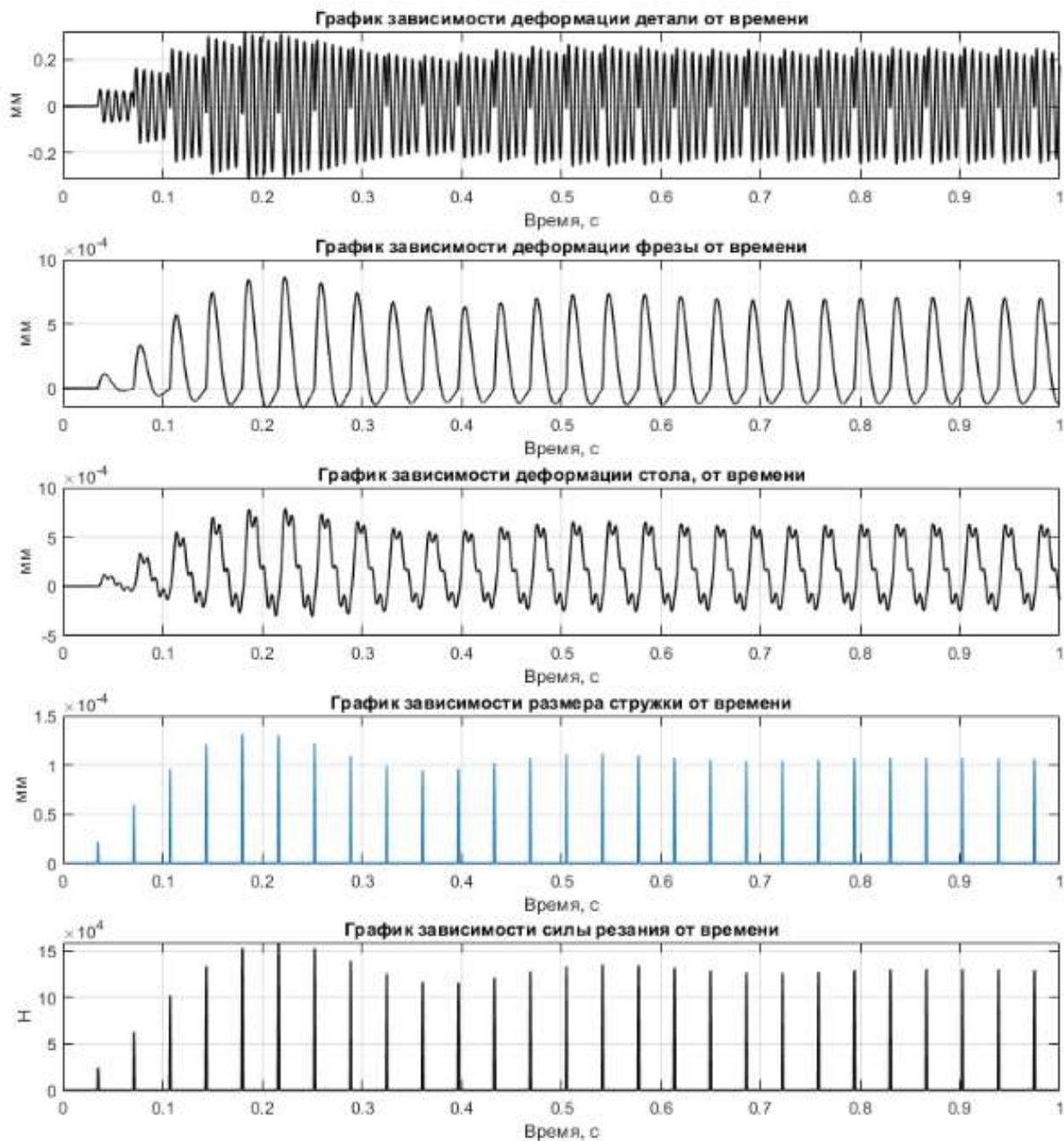
## Скорость резания 52,7 м /мин



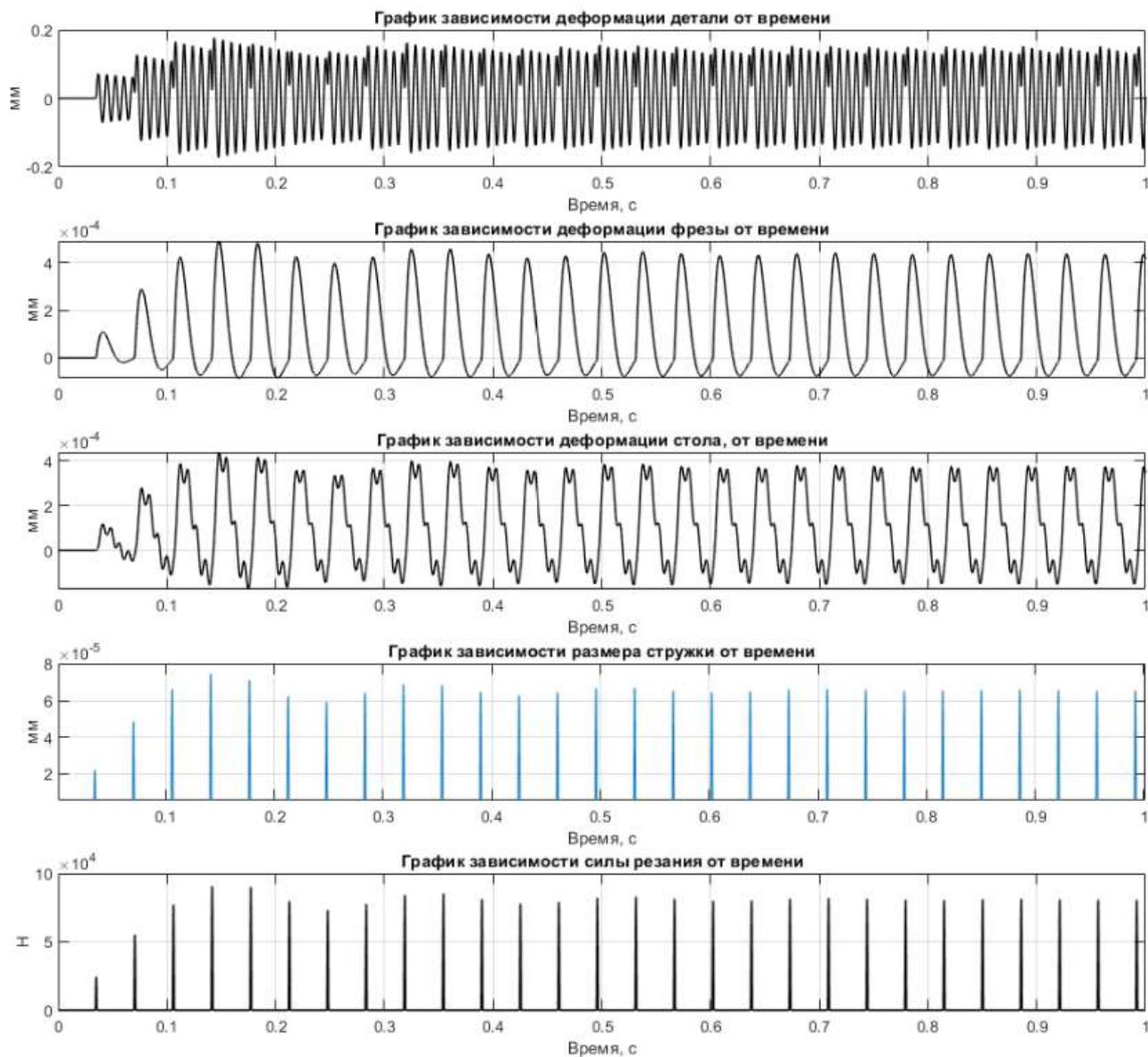
# Скорость резания 52,8 м /мин



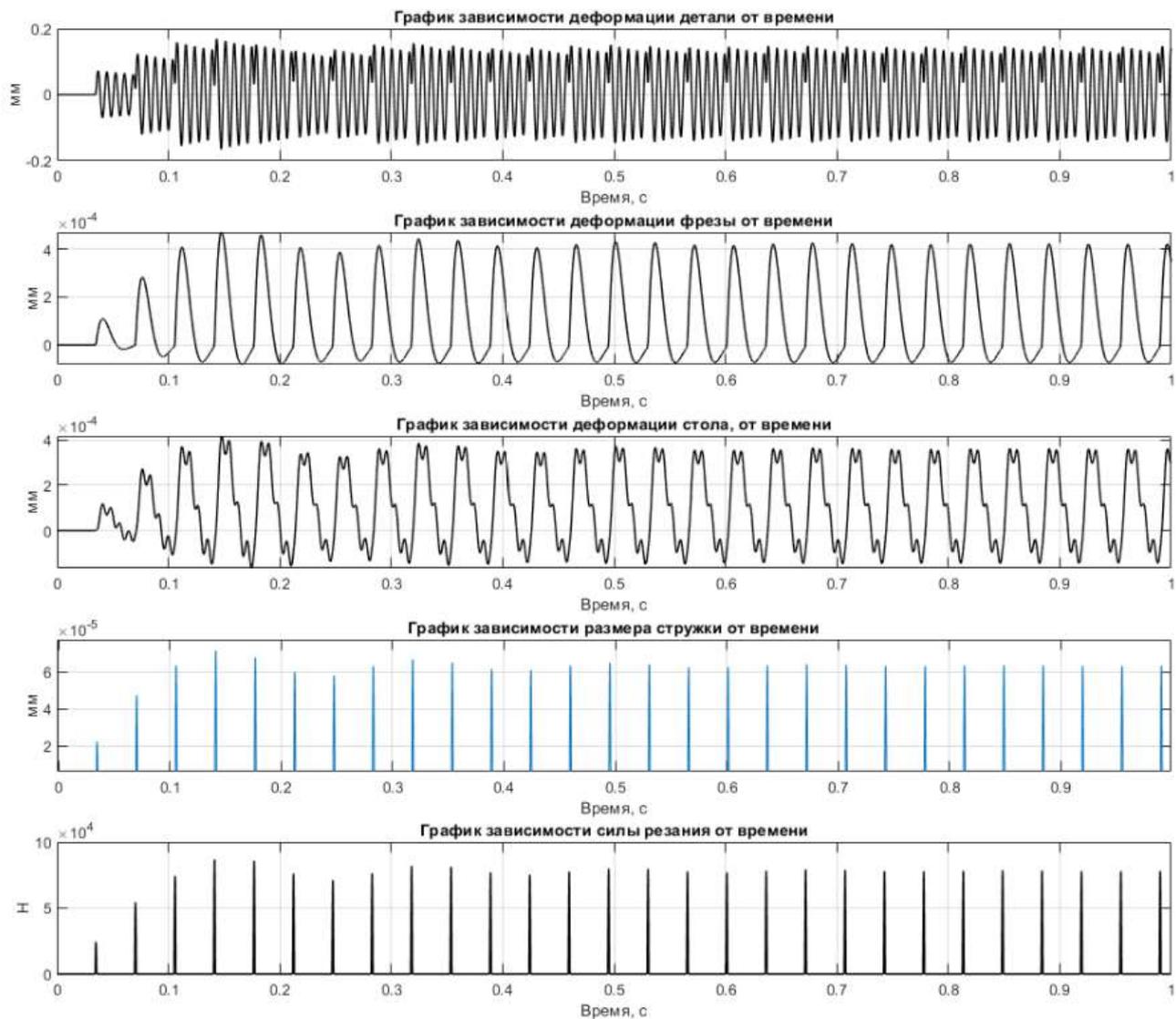
## Скорость резания 53 м /мин



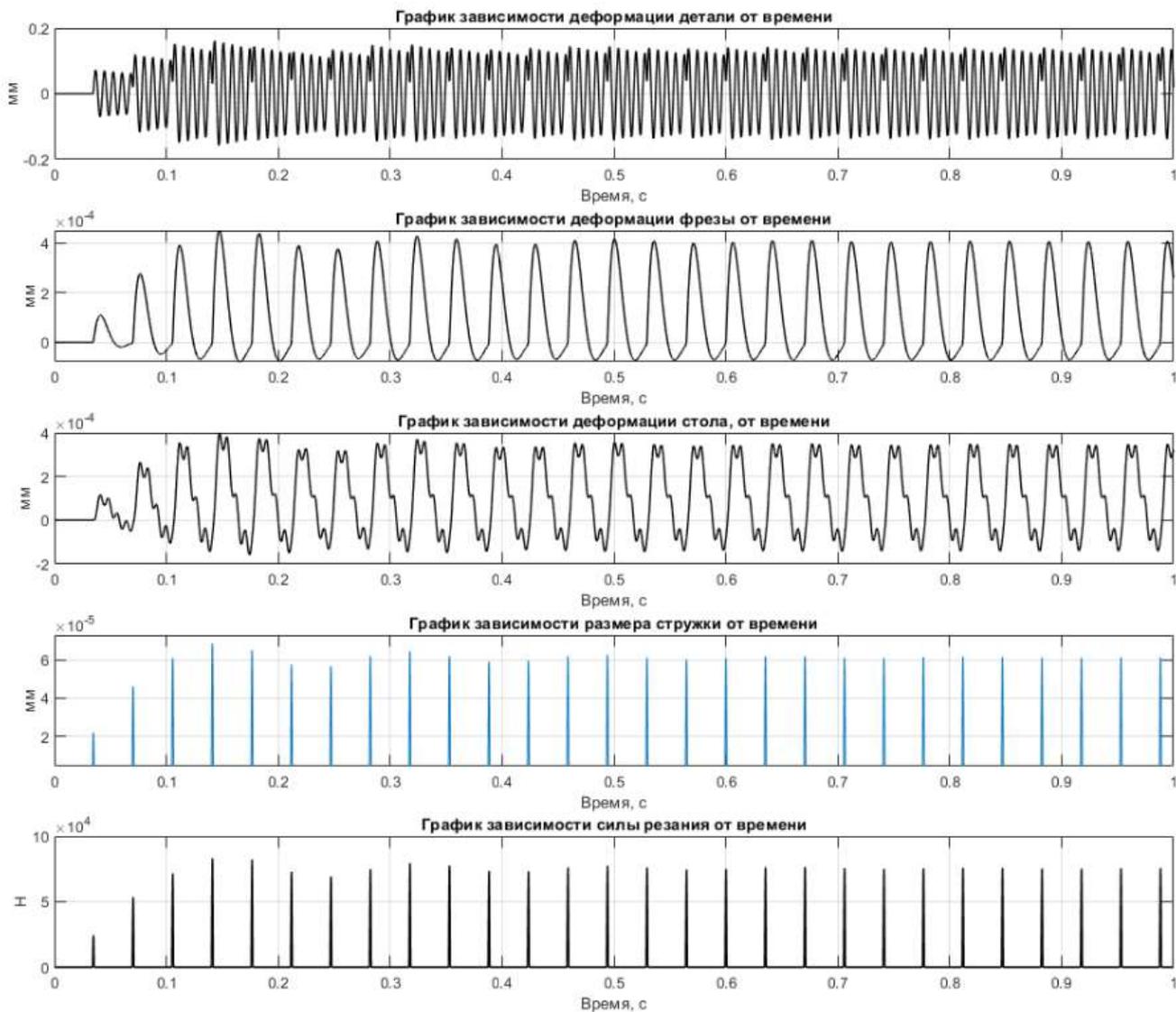
## Скорость резания 53,2 м /мин



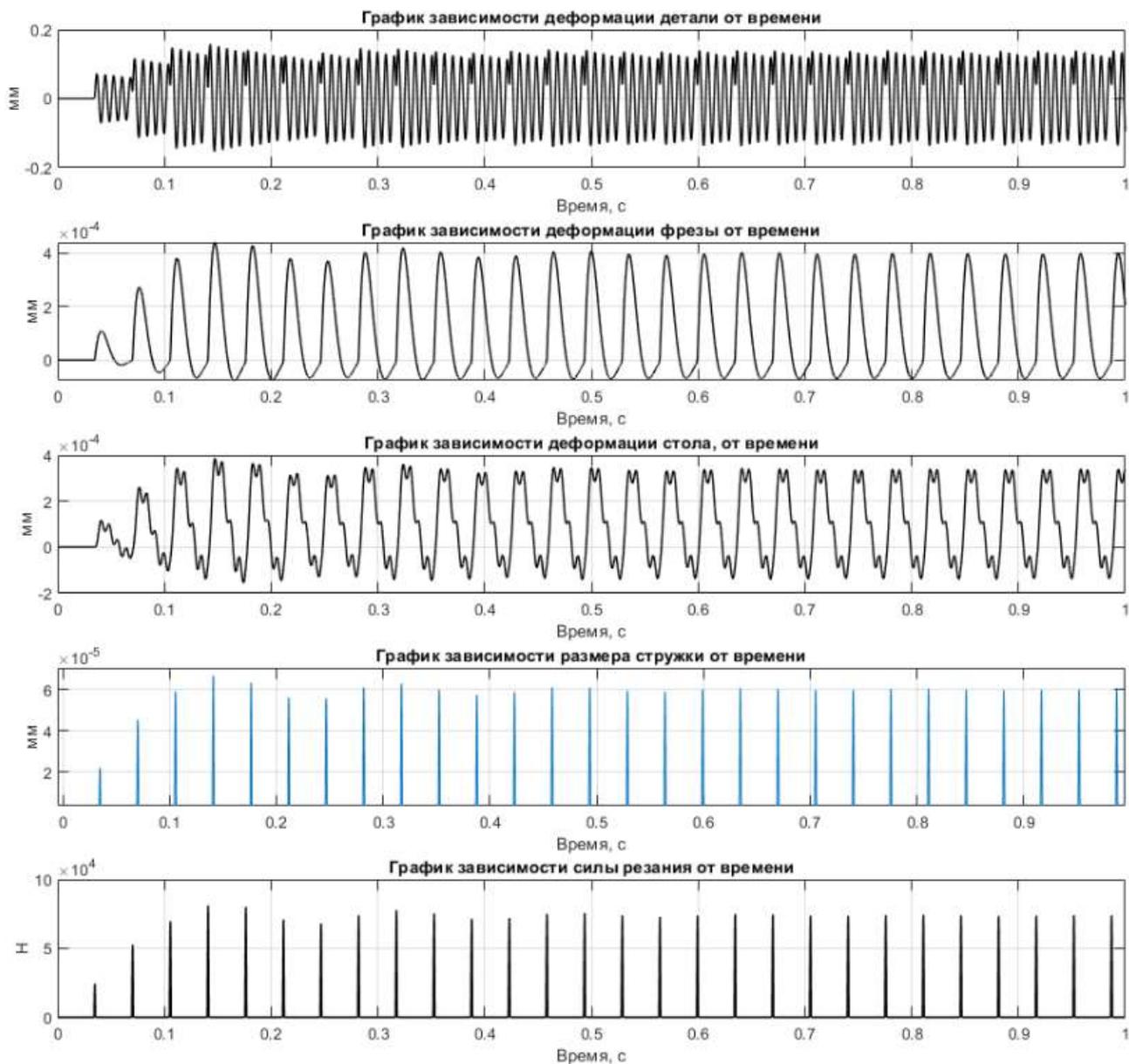
## Скорость резания 53,3 м /мин



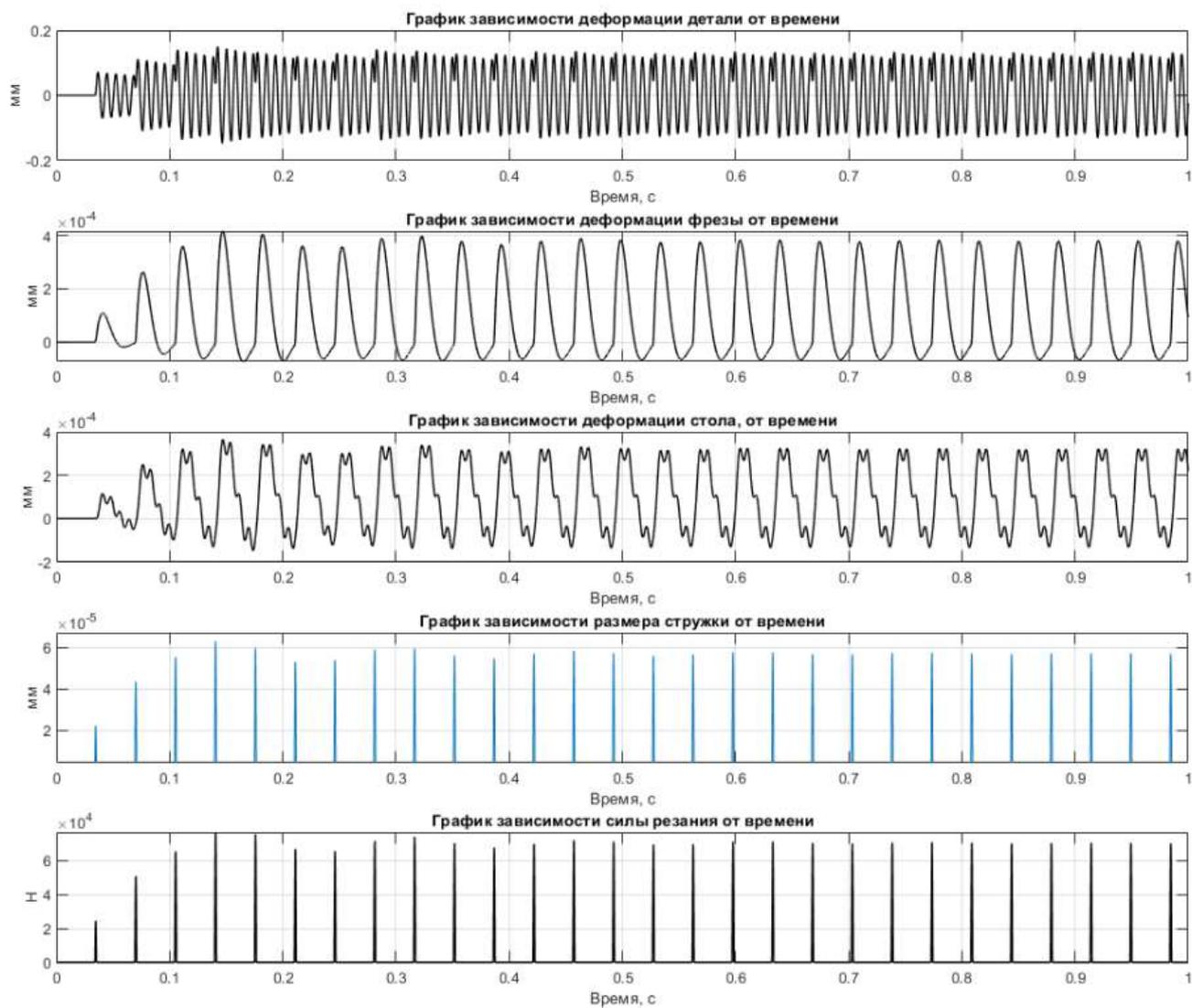
## Скорость резания 53,4 м /мин



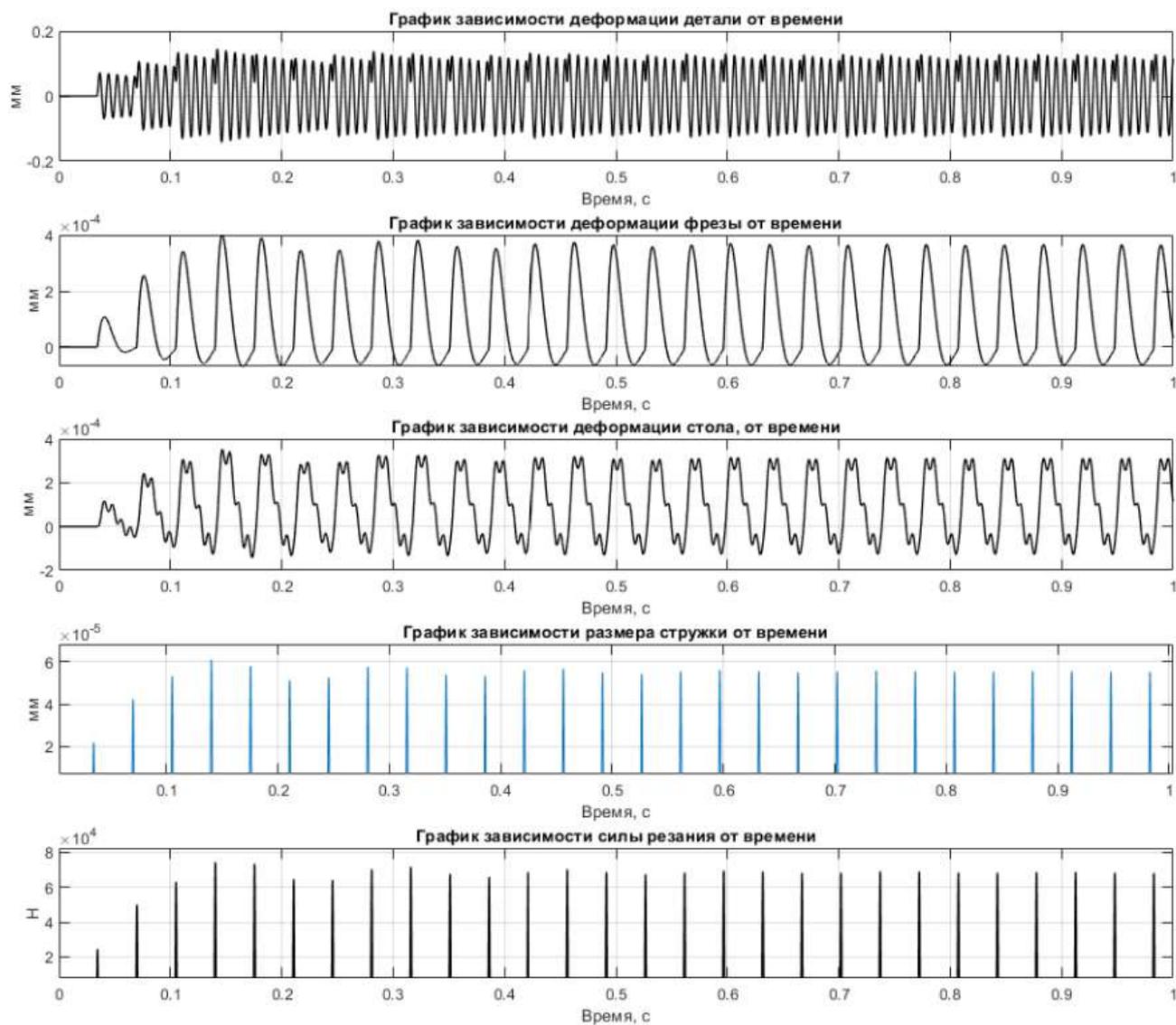
## Скорость резания 53,5 м /мин



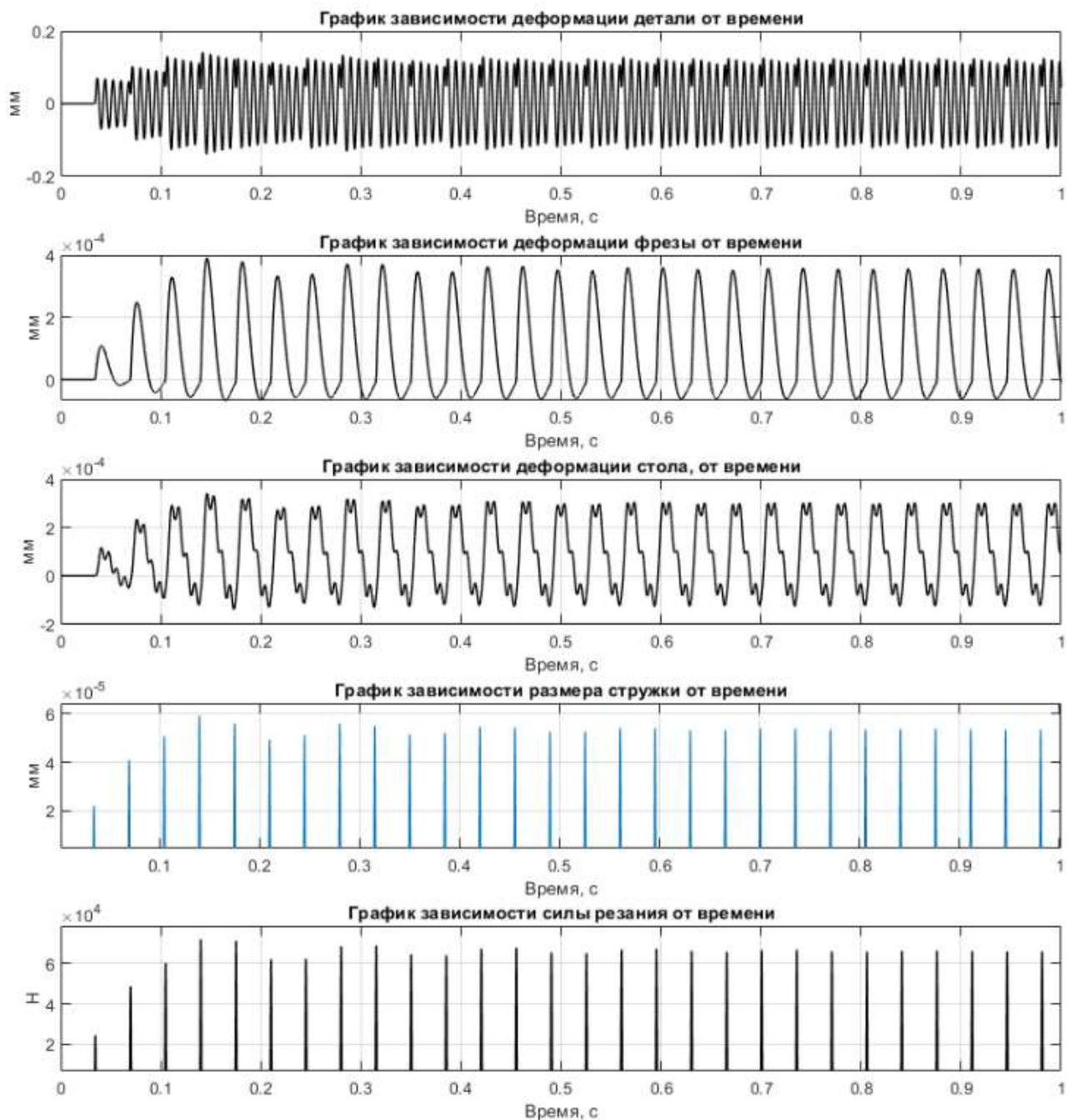
## Скорость резания 53,6 м /мин



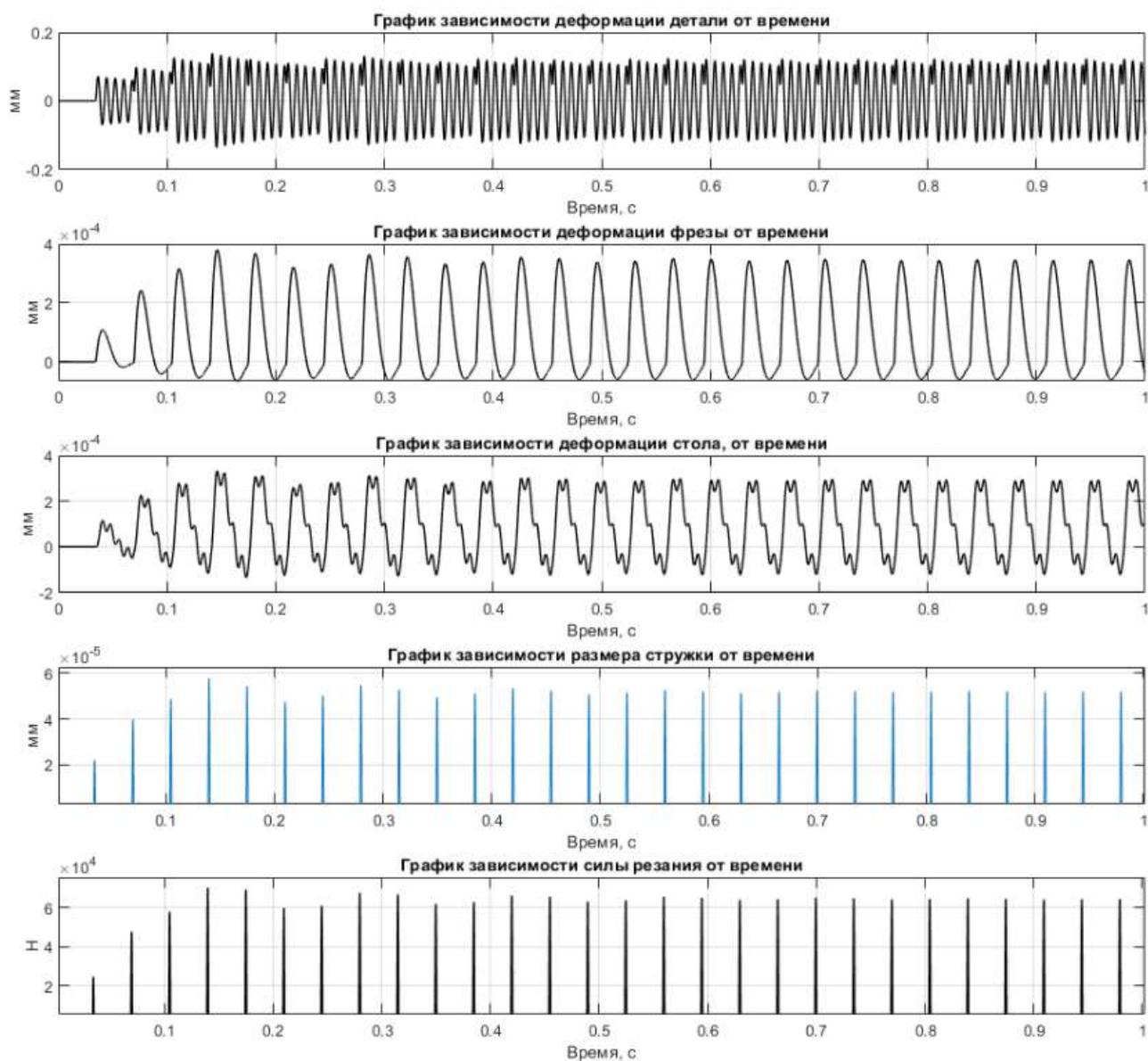
## Скорость резания 53,7 м /мин



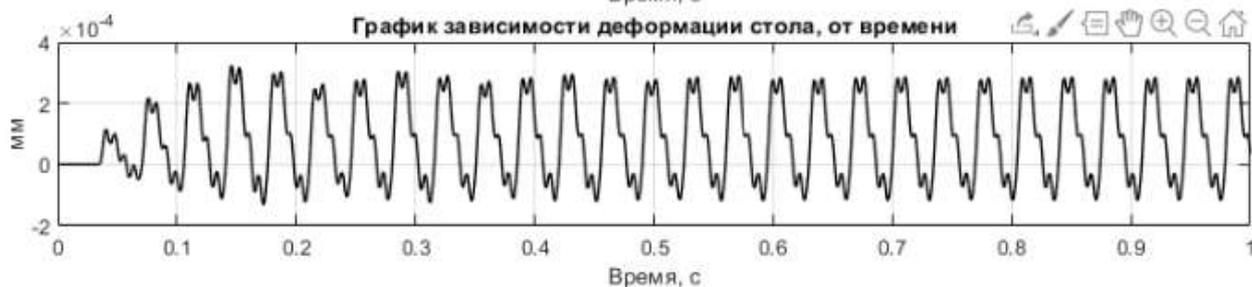
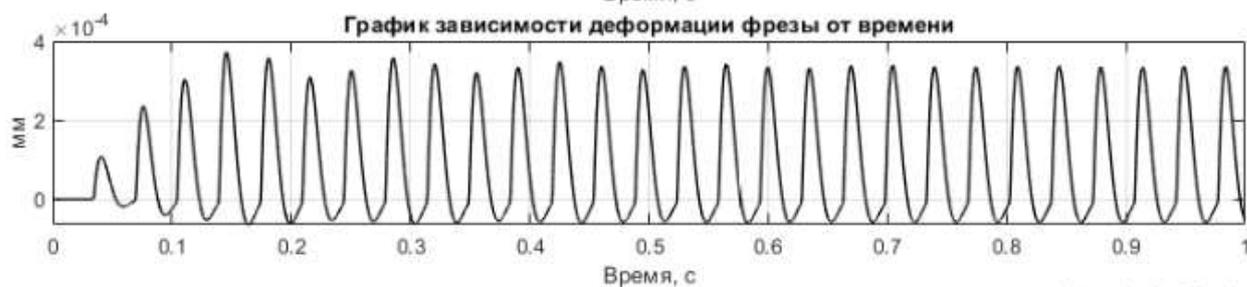
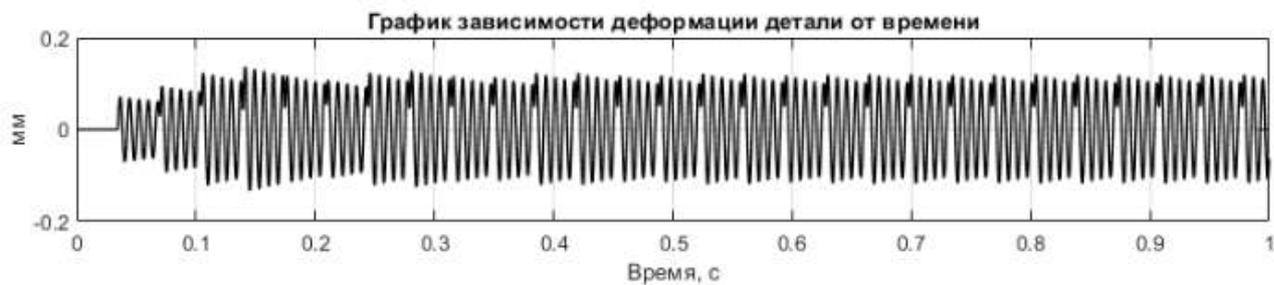
## Скорость резания 53,8 м /мин



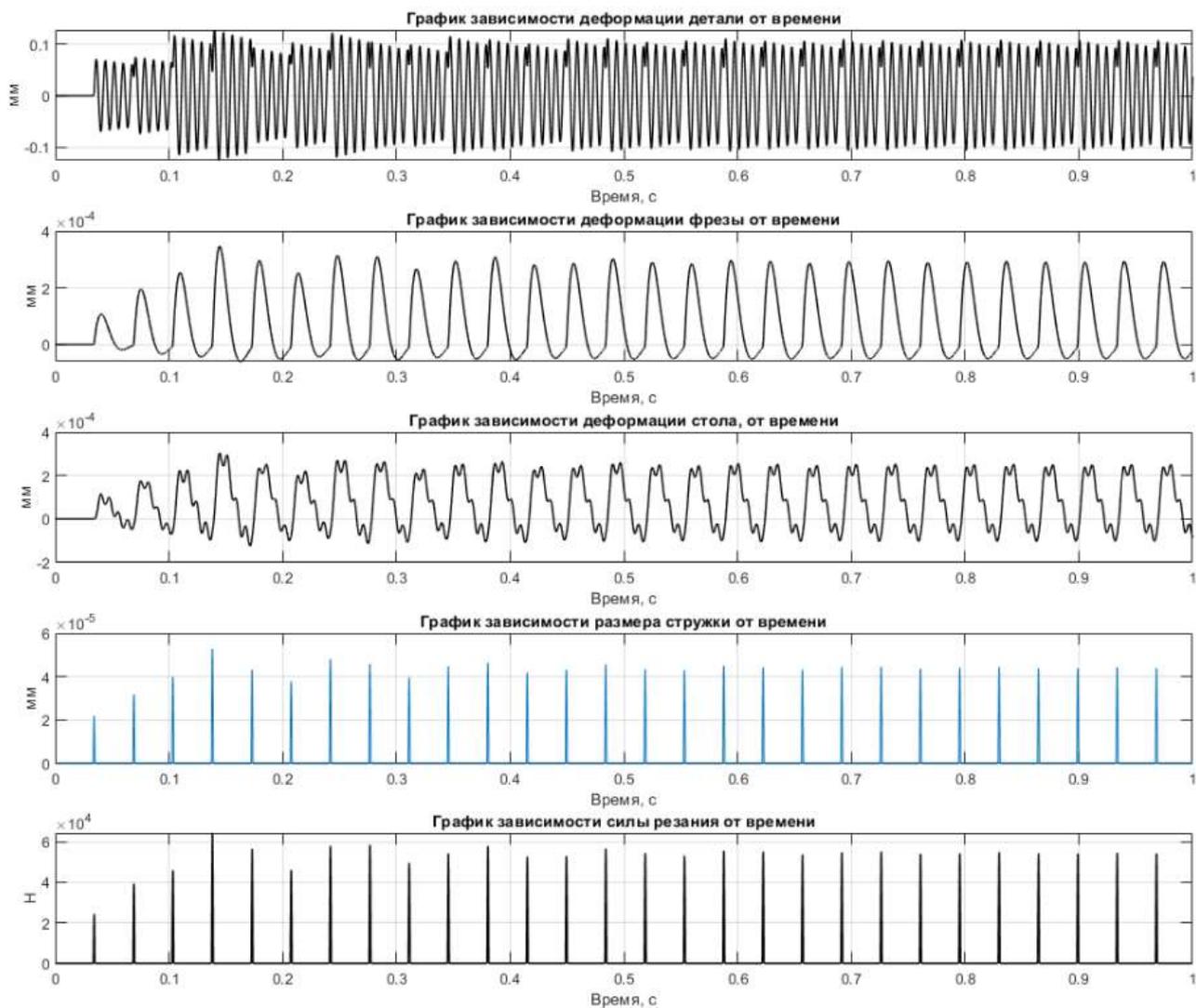
# Скорость резания 53,9 м /мин



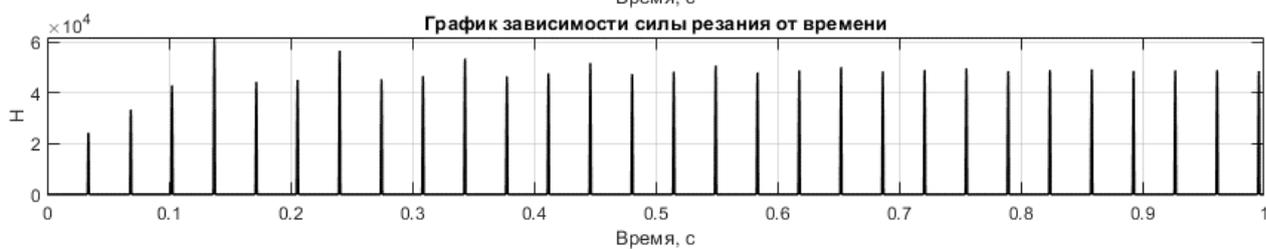
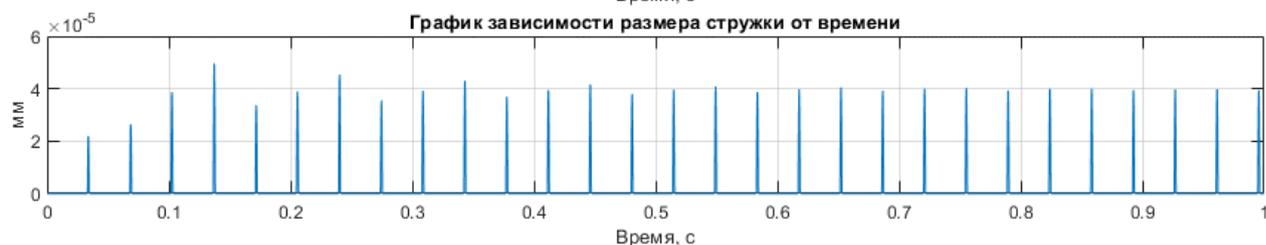
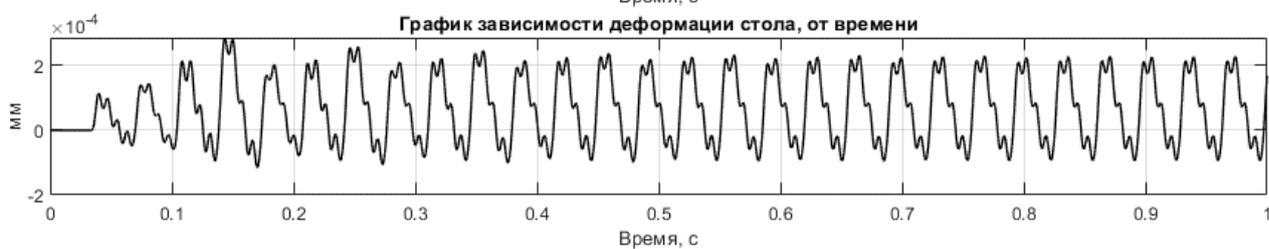
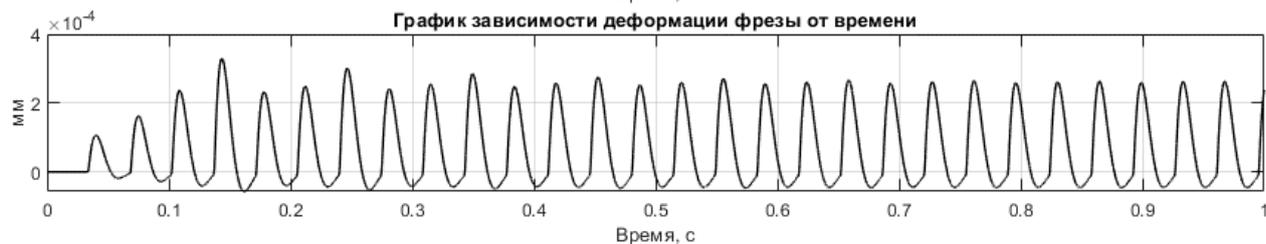
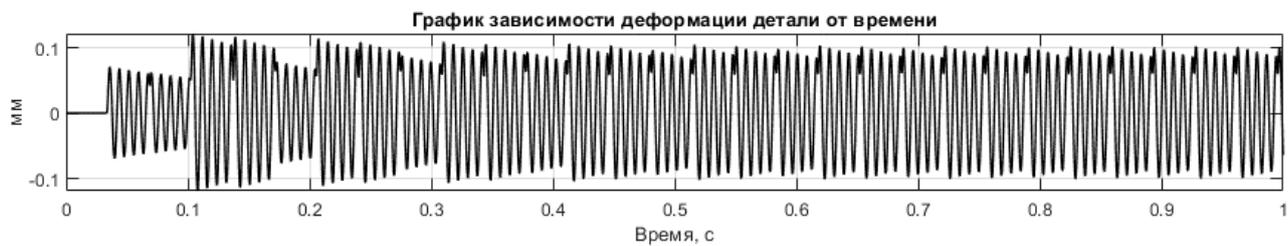
## Скорость резания 54 м /мин



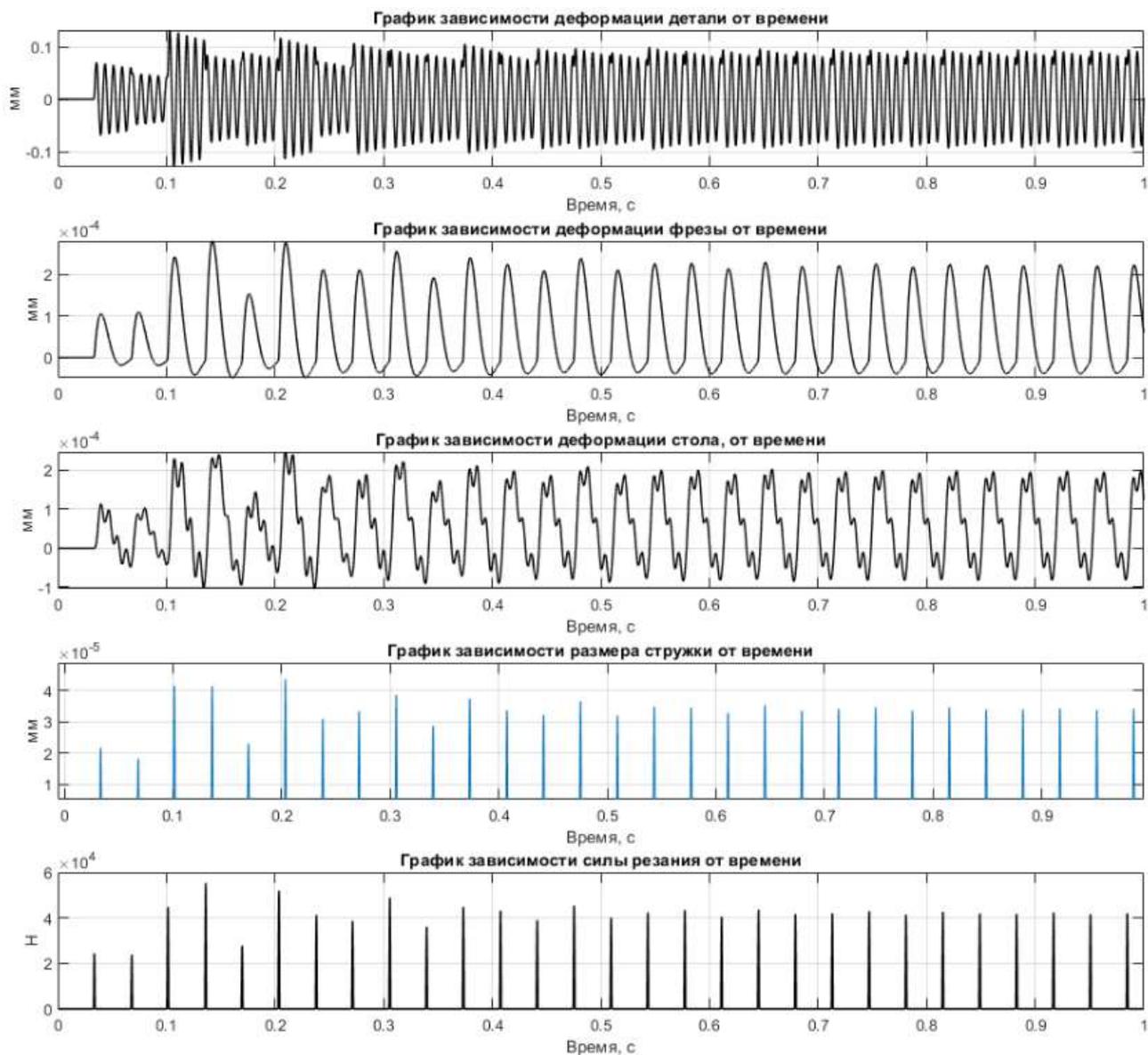
## Скорость резания 54,5 м /мин



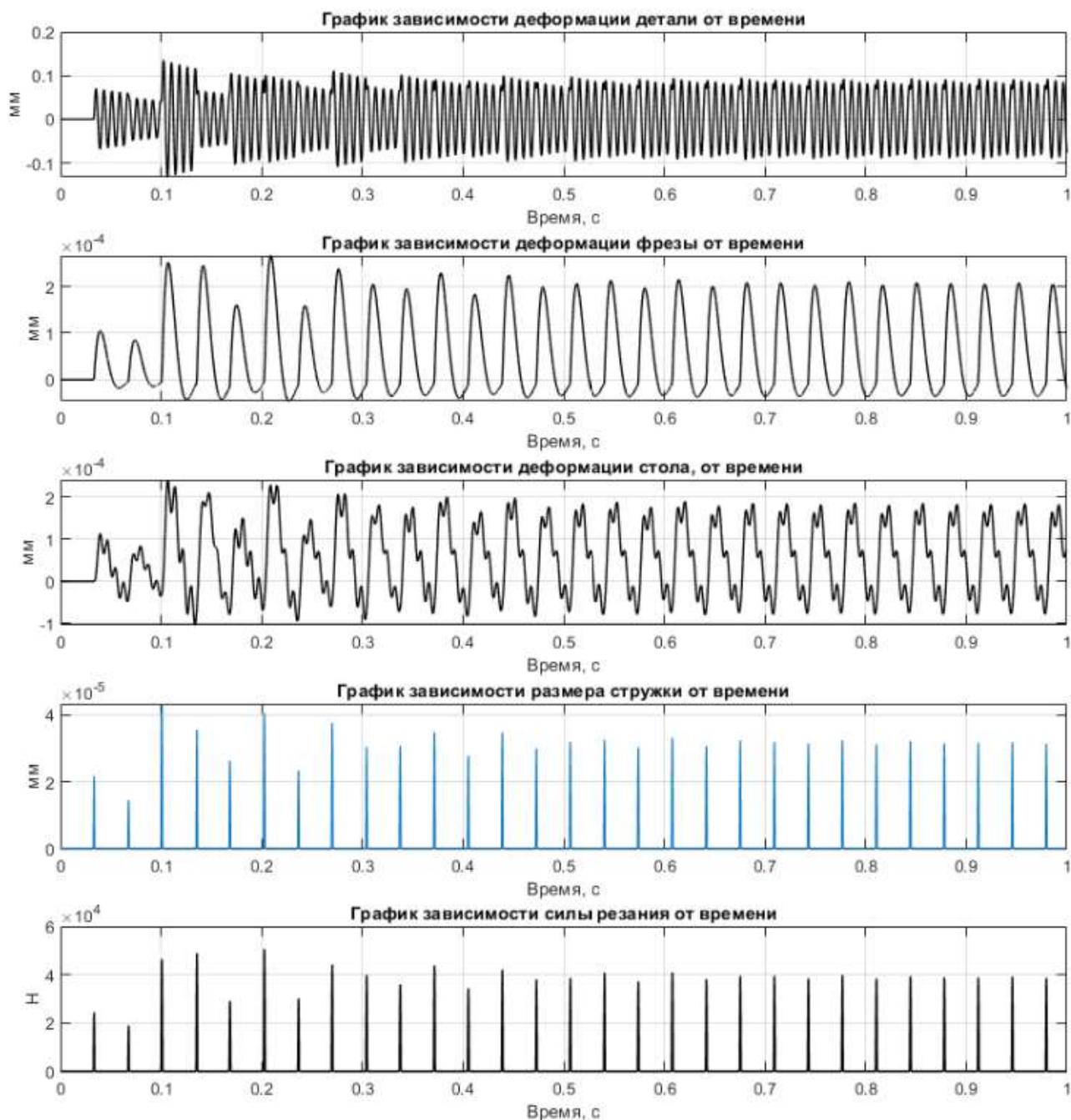
## Скорость резания 55 м /мин



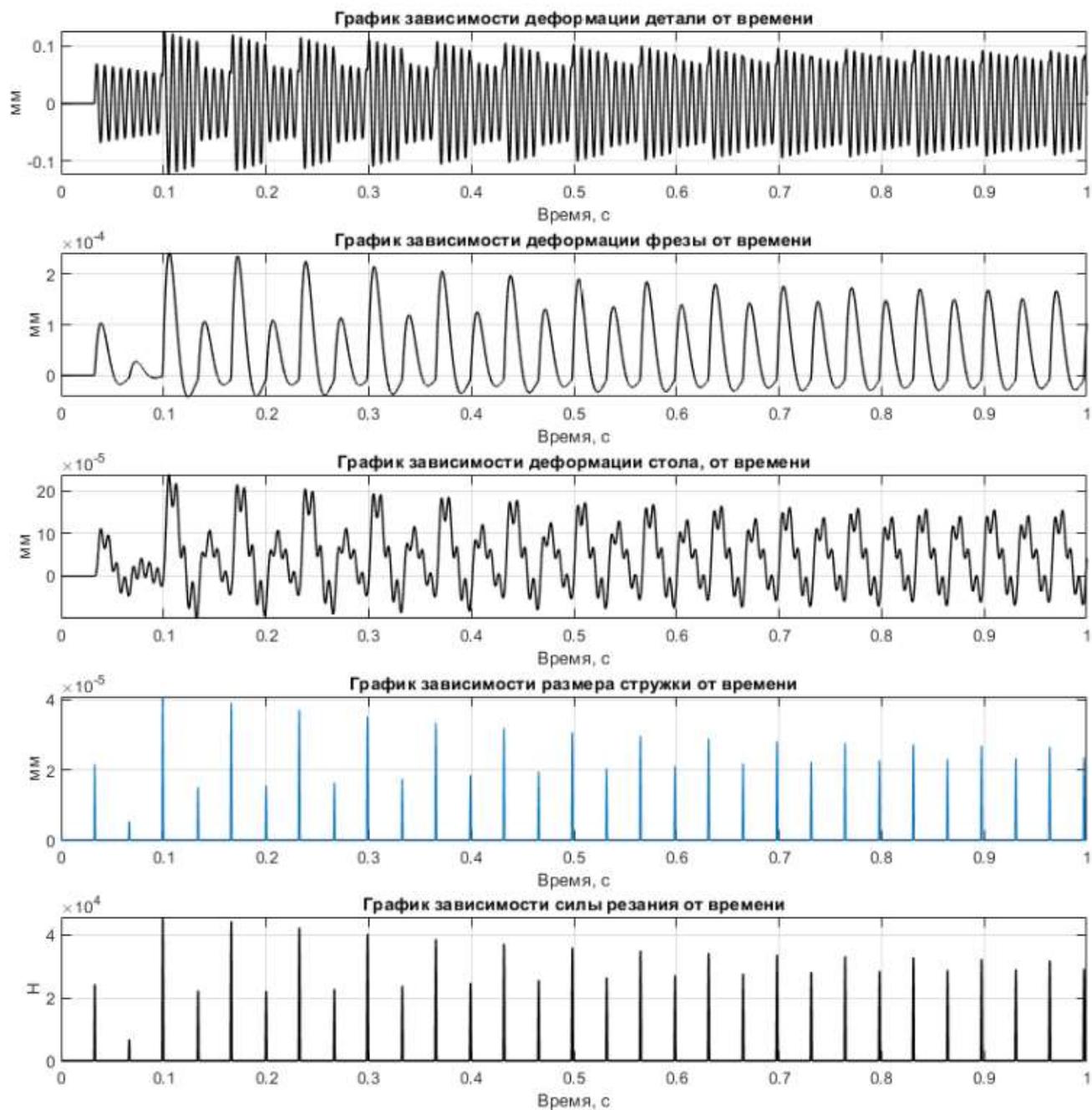
## Скорость резания 55.5 м /мин



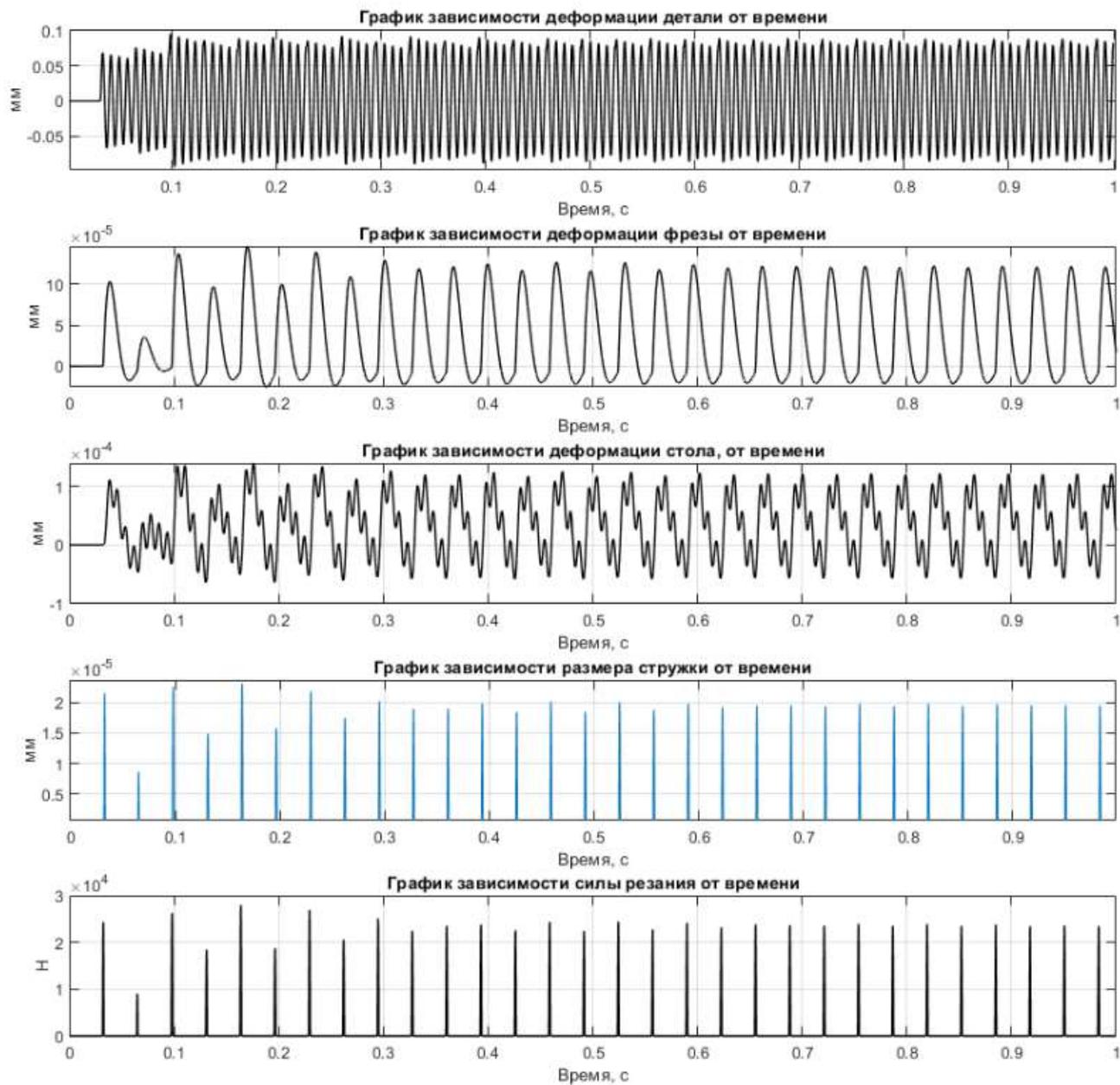
# Скорость резания 56 м /мин



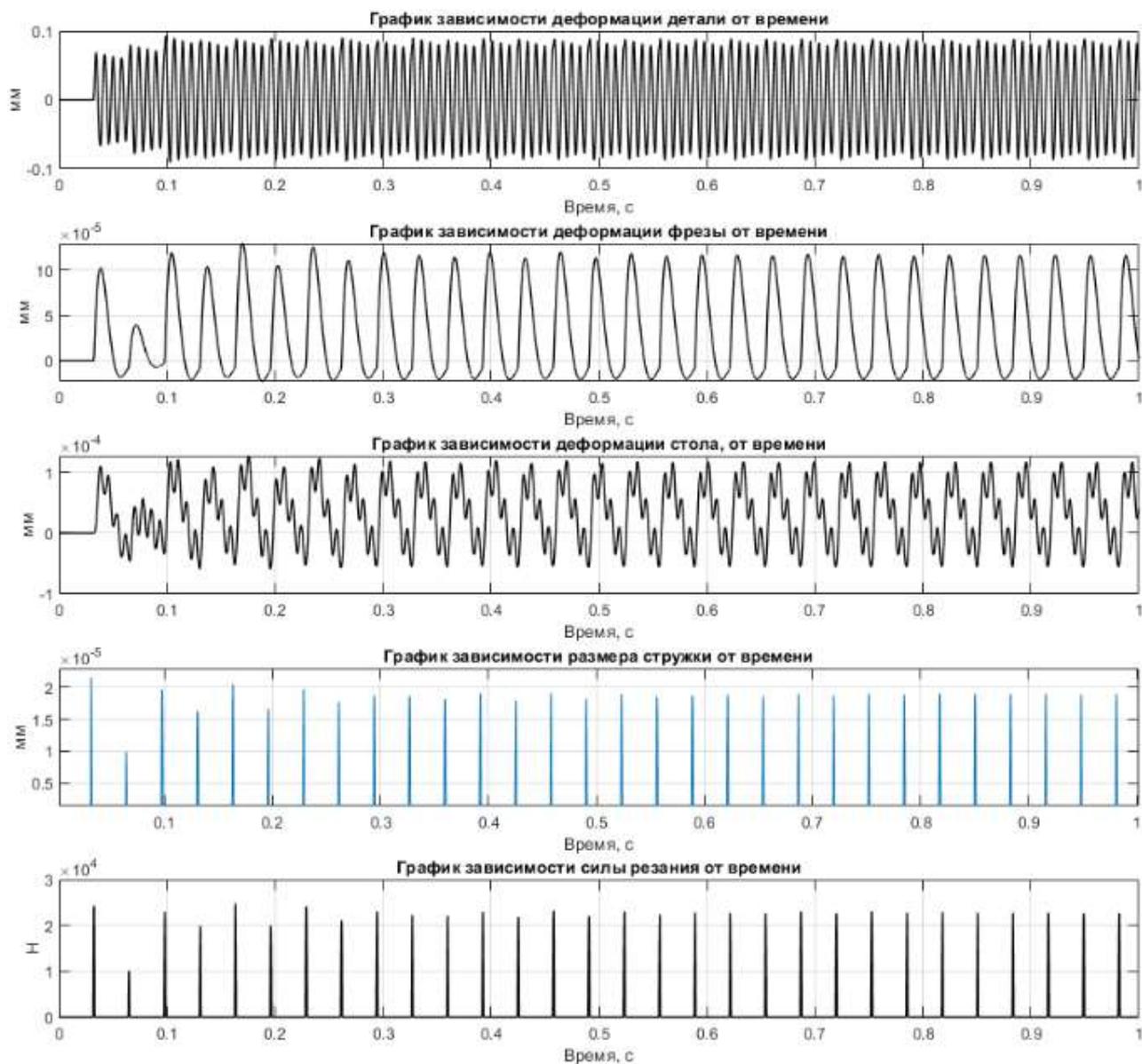
## Скорость резания 57 м /мин



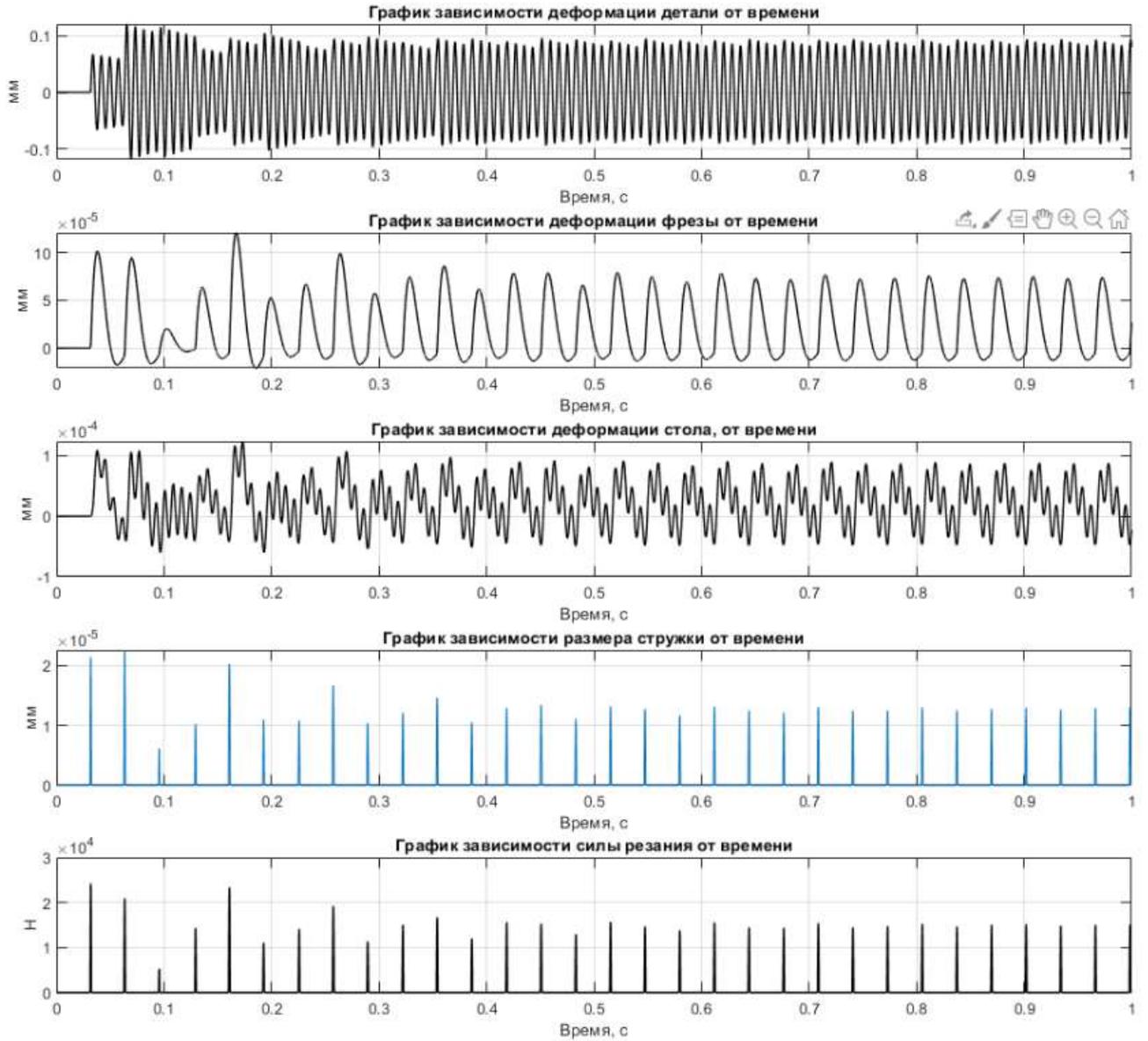
## Скорость резания 57.5 м /мин



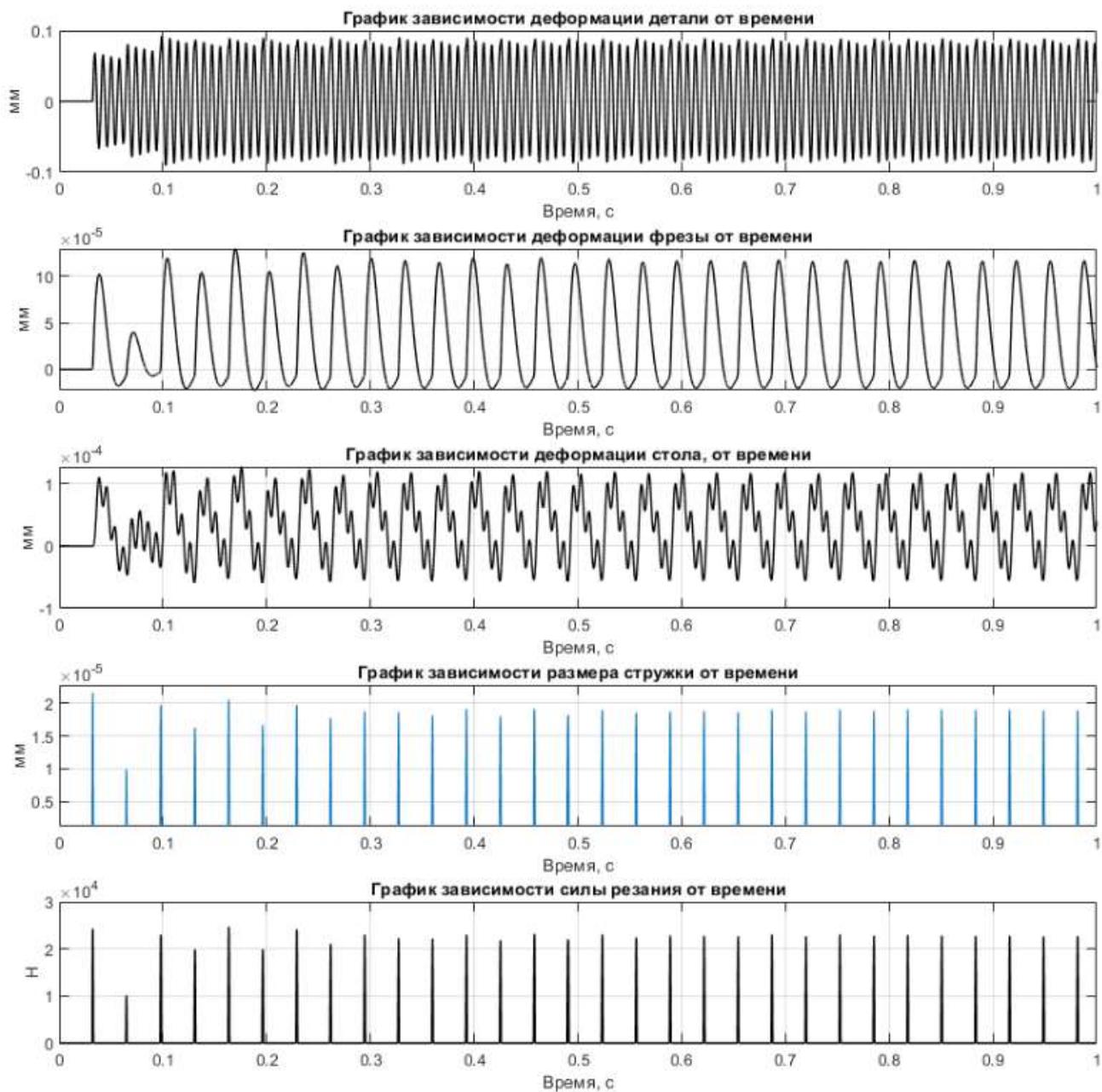
## Скорость резания 58 м /мин



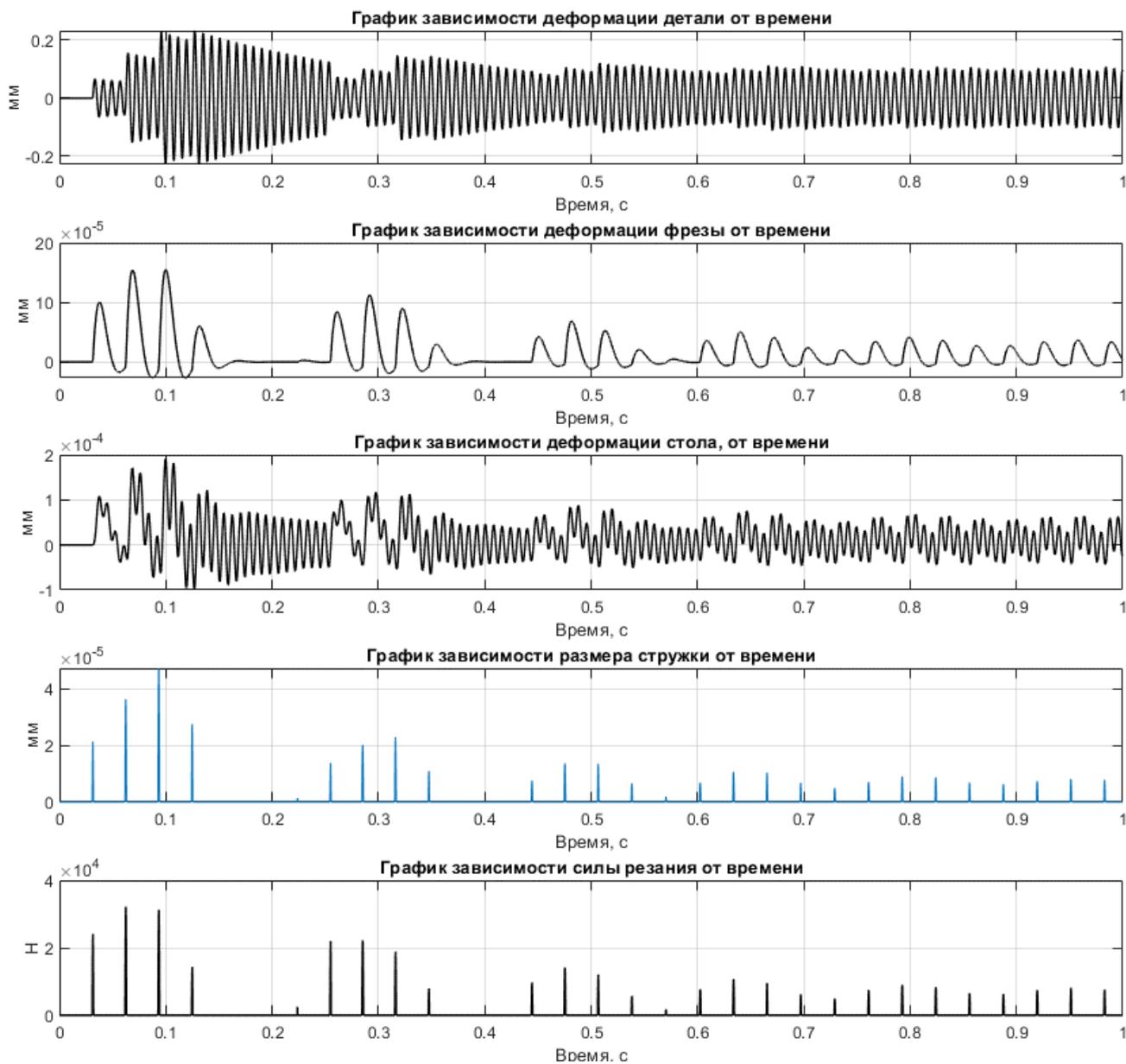
# Скорость резания 58.5 м /мин



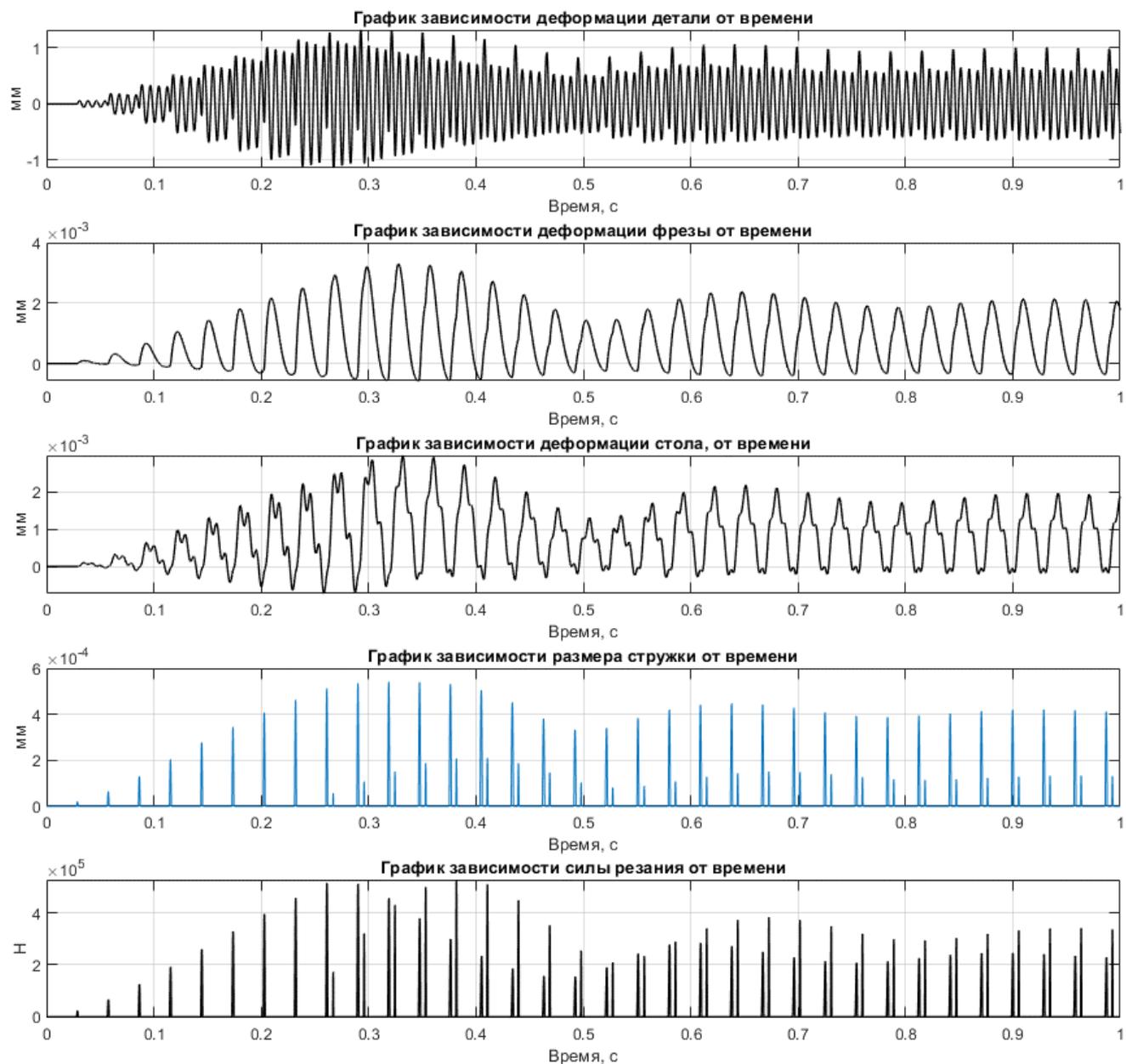
## Скорость резания 59 м /мин



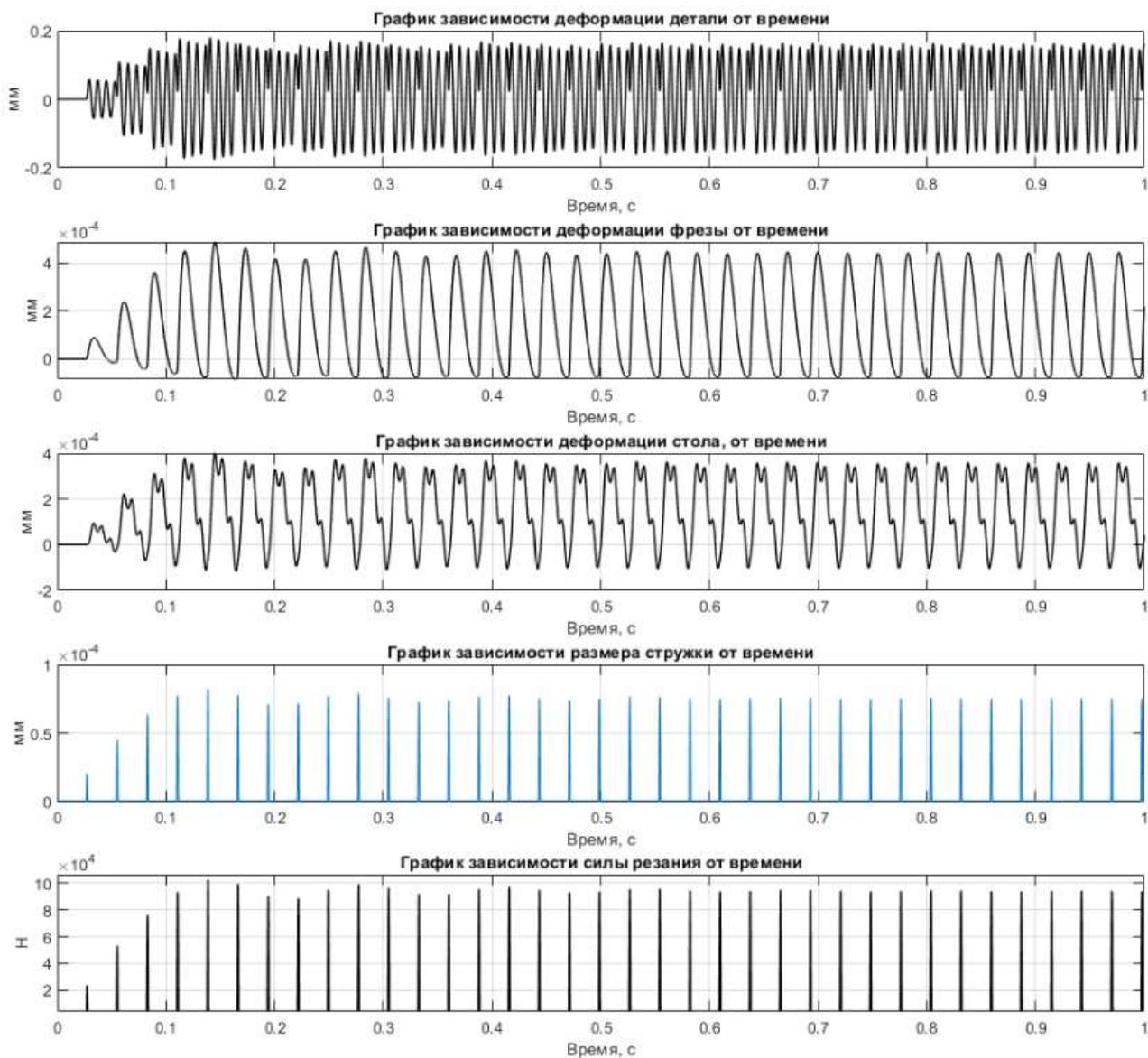
# Скорость резания 60 м /мин



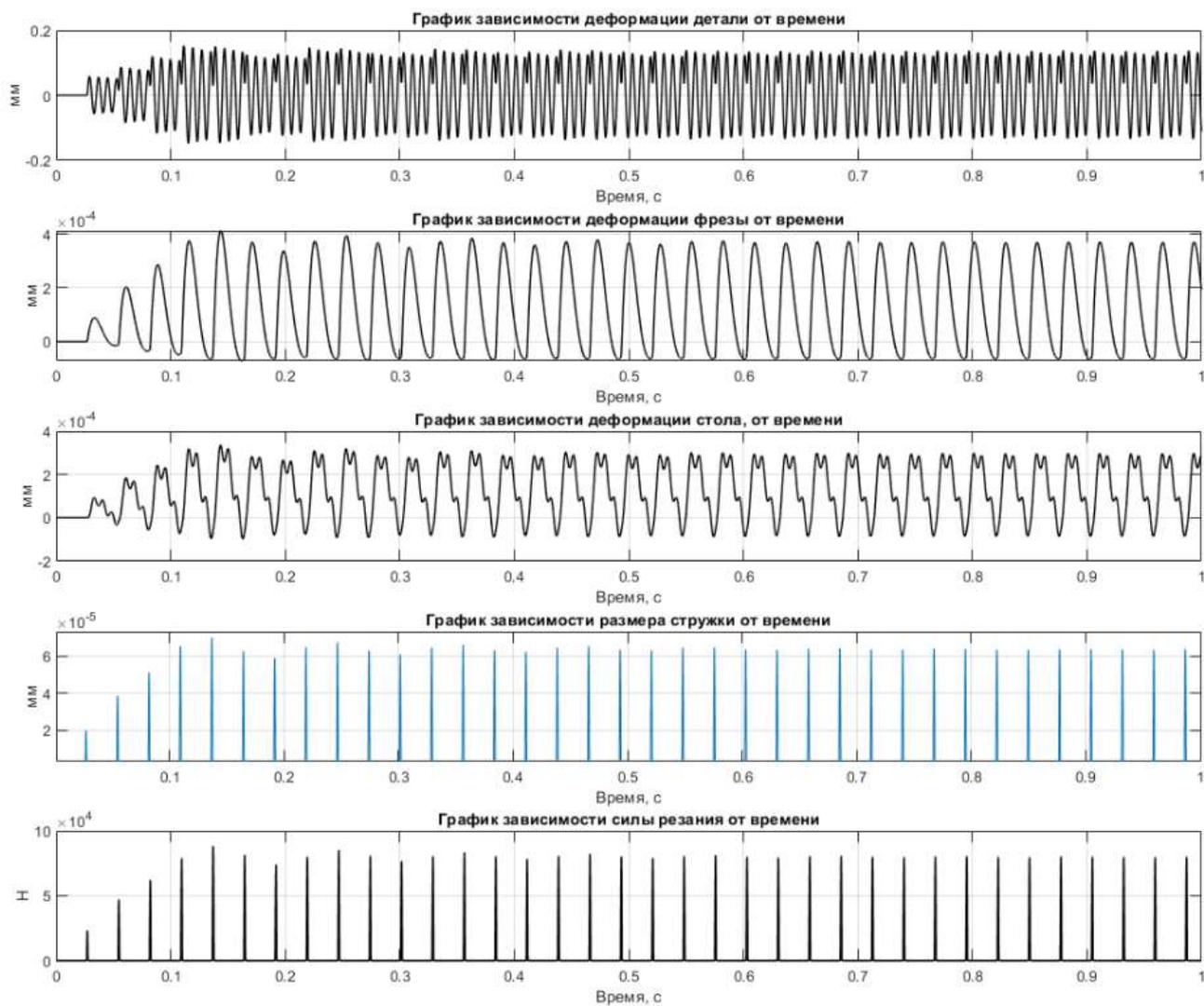
# Скорость резания 65 м /мин



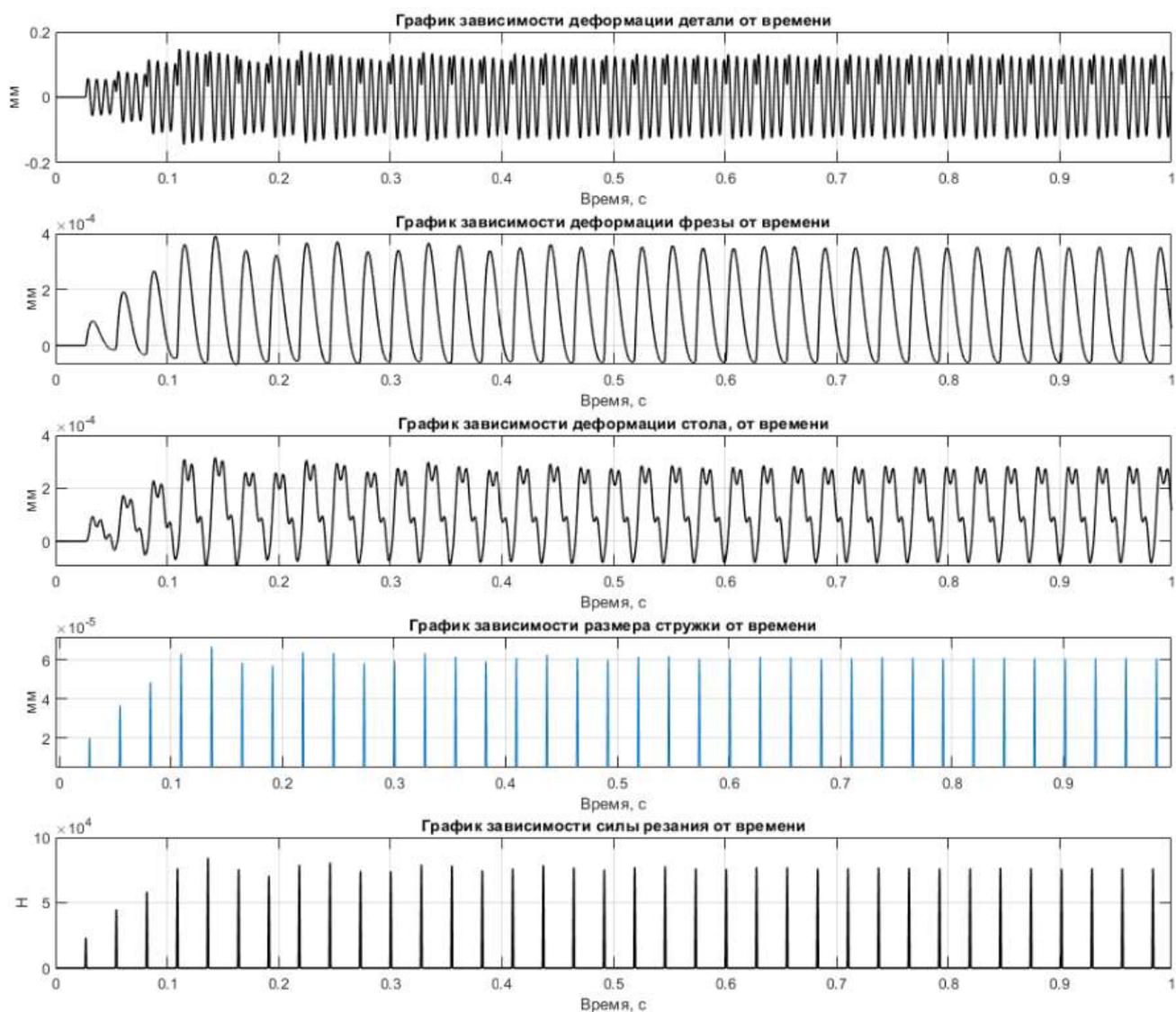
# Скорость резания 68 м /мин



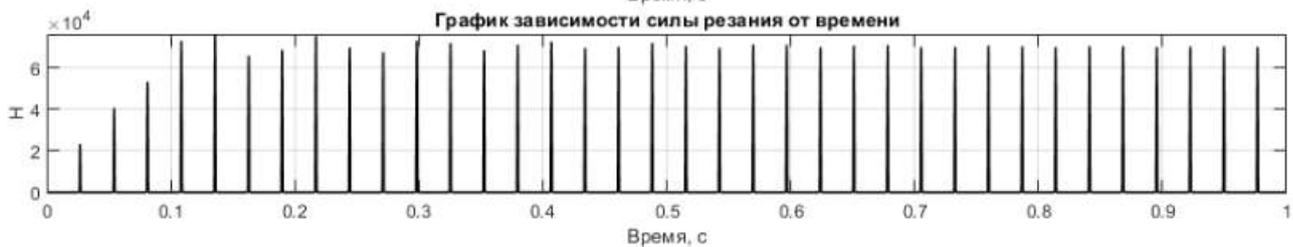
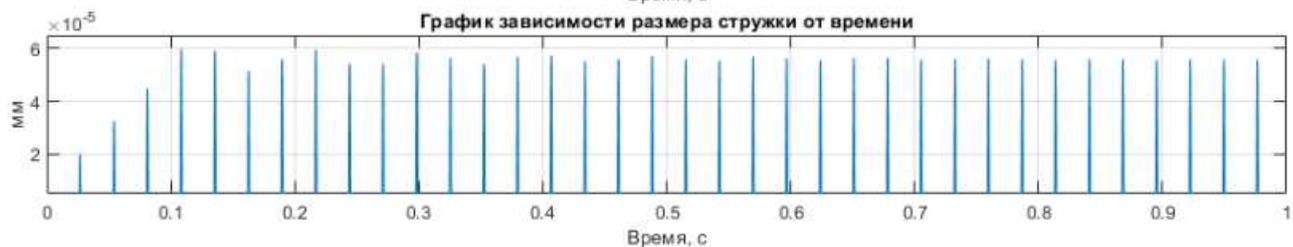
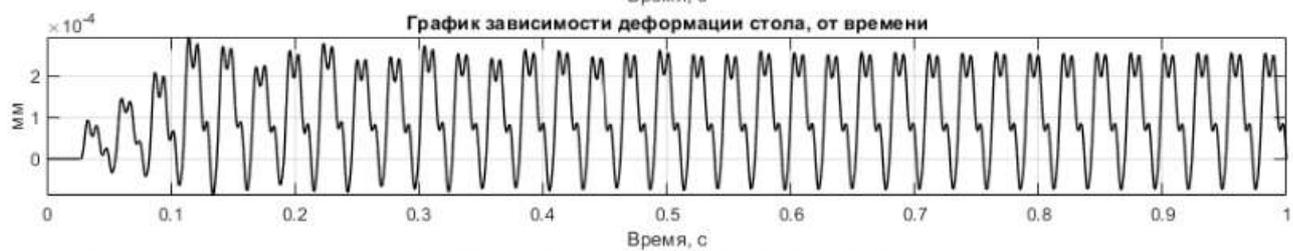
# Скорость резания 68,5 м /мин



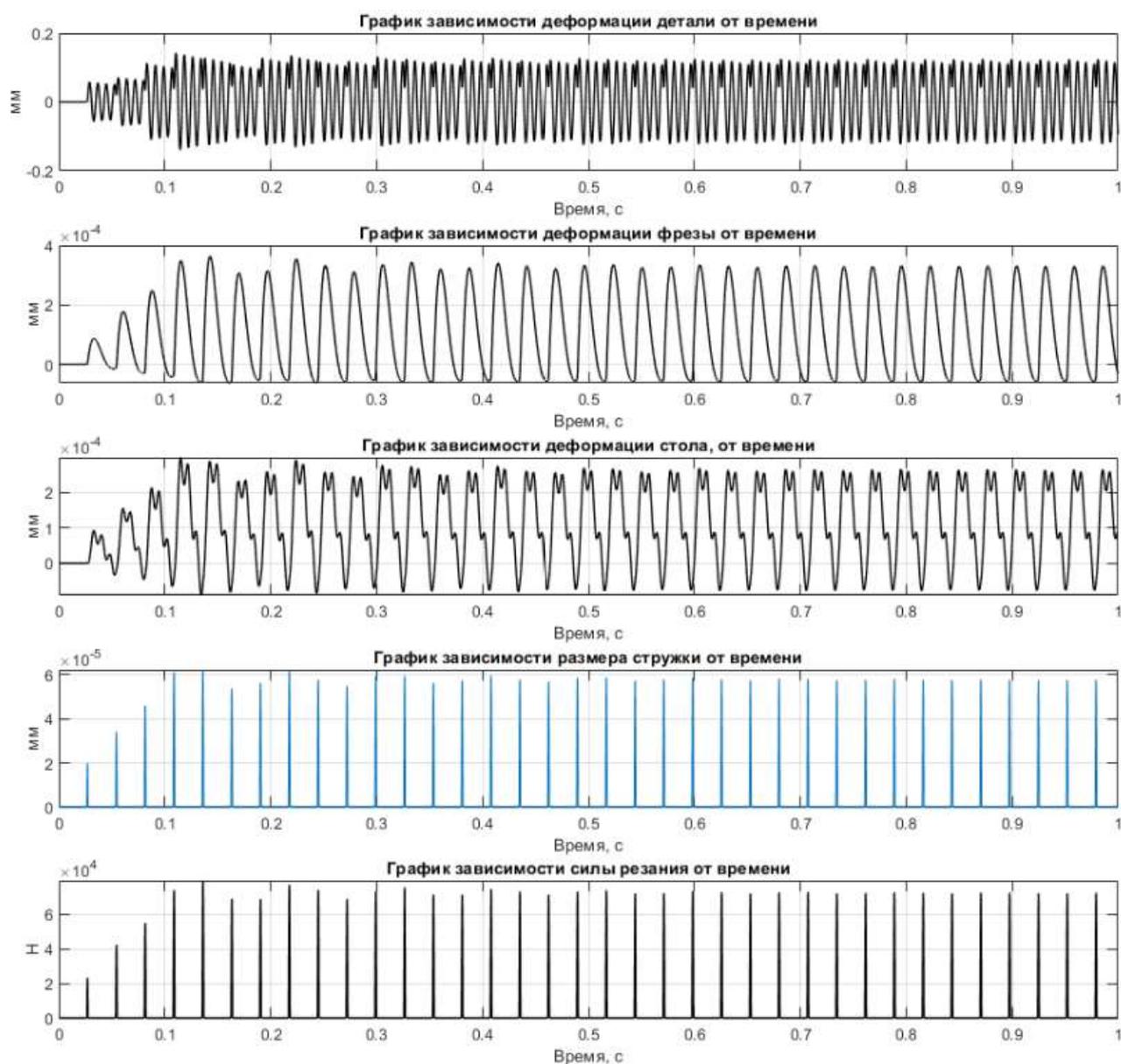
## Скорость резания 69 м /мин



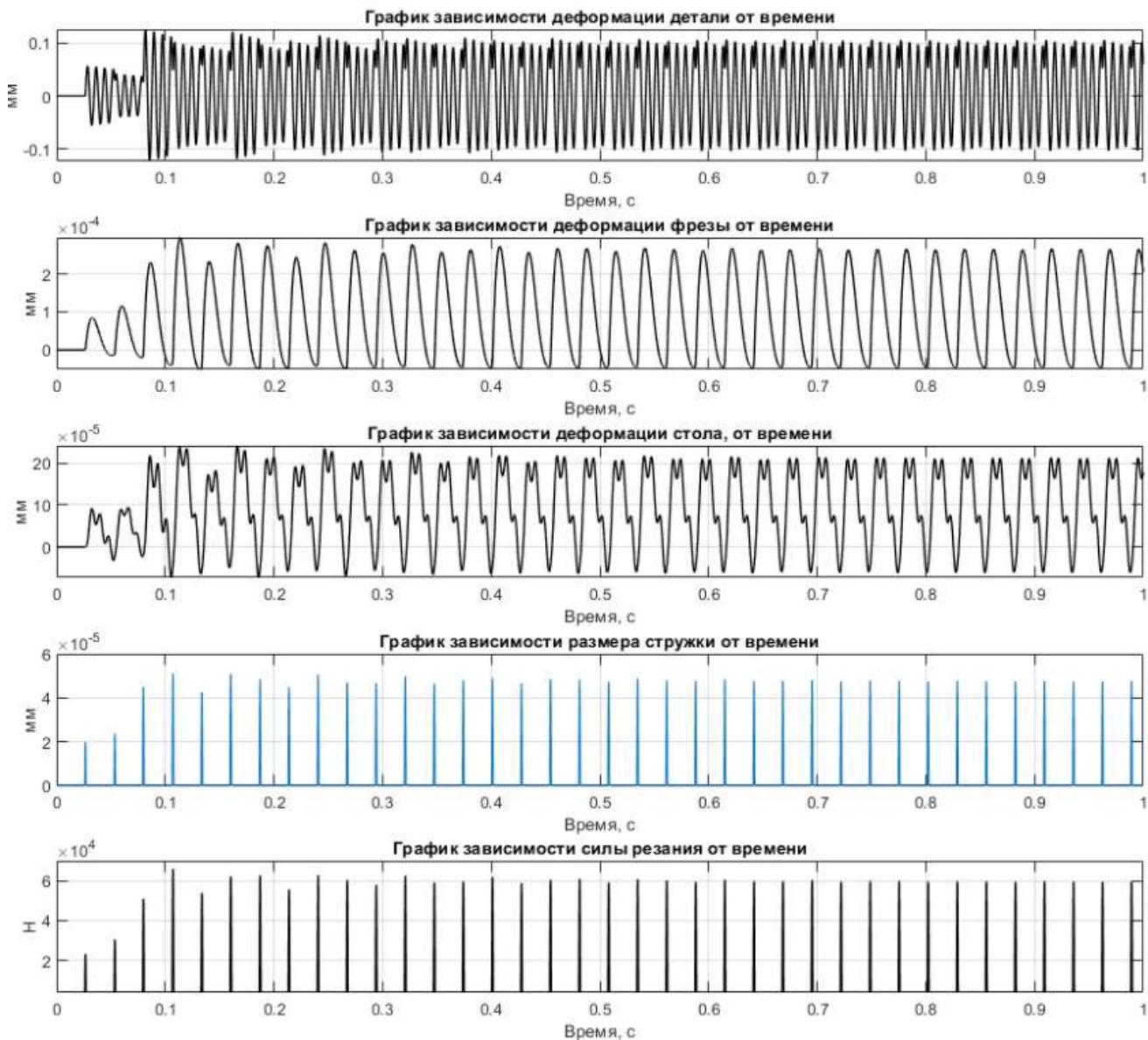
## Скорость резания 69,5 м /мин



## Скорость резания 70 м /мин



## Скорость резания 70,5 м /мин



## Приложение Г

```
clc;
clear;
close all;
V = [250      300 350 400 410 420 430 435 440 445 448 449 450
451 452 453 454 455 456 457 458 460 470 480 490 500 510 520
521 522 523 524 525 526 527 528 530 532 533 534 535 536 537
538 539 540 550 560 570 575 580 585 590 600 650 700];
MIN = [60  20 10 20 25 50 80 150 150 80 80 75 75
75 75 75 75 75 75 75 75 80 50 50 130 150 200 100
10 10 0 0 0 2 3 10 5 50 50 80 60 60 50
50 60 60 80 80 70 75 80 85 80 85 50 60
];
MAX= [120  150 150 125 150 190 220 200 200 120 100 110 100
95 95 95 95 95 95 90 90 95 130 140 220 300 300 600
280 250 210 210 1 210 190 190 220 170 160 160 150 170 120
110 120 110 100 100 100 85 90 95 90 100 100 110
];
SR= [900      850 800 725 875 1200      1500      1750      1750
1000      900 925 875 850 850 850 850 850 850 825 825 875 900
950 1750      2250      2500      3500      1450      1300      1050
1050      2100      1060      965 1000      1125      1100      1050
1200      1050      1150      850 800 900 850 900 900 850 800 850
900 850 925 750 850
];
F=[13270      15924      18577      21231      21762      22293      22824
23089      23355      23620      23779      23832      23885      23938
23992      24045      24098      24151      24204      24257      24310
24416      24947      25478      26008      26539      27070      27601
27654      27707      27760      27813      27866      27919      27972
28025      28132      28238      28291      28344      28397      28450
28503      28556      28609      28662      29193      29724      30255
30520      30786      31051      31316      31847      34501      37155
];
ax2 = subplot(1,1,1);
plot(F/1000, MIN/1000, F/1000, MAX/1000, F/1000, SR/10000);
grid on;
ylabel('мм');
xlabel('Гц');
title ('Перемещение детали относительно нулевой точки в
зависимости от скорости резания ', 'Location', 'southwest');
```

```

clc;
clear;
close all;
V = [250      300 350 400 410 420 430 435 440 445 448 449 450
451 452 453 454 455 456 457 458 460 470 480 490 500 510 520
521 522 523 524 525 526 527 528 530 532 533 534 535 536 537
538 539 540 550 560 570 575 580 585 590 600 650 700];
MIN = [320  390 280 200 200 250 300 750 760 480 360 310 325
310 300 290 280 255 240 230 220 200 200 50  200 300 400 265
1100    1150    990 1000    900 880 800 800 1050    630 625
610 600 590 580 510 510 500 340 300 210 192 186 115 185 60
39  600
];
MAX= [400    550 480 350 400 510 900 800 800 490 380 330 320
320 310 300 290 270 250 245 240 225 300 200 500 900 1400
285 1200    1200    1000    1000    900 900 820 820 1100
650 630 610 602 595 585 520 520 510 350 310 290 200 190 120
190 100 42  605
];
SR= [360      470 380 275 300 380 600 775 780 485 370 320
322.5    315 305 295 285 262.5    245 237.5    230 212.5    250
125 350 600 900 275 1150    1175    995 1000    900 890 810
810 1075    640 627.5    610 601 592.5    582.5    515 515 505
345 305 250 196 188 117.5    187.5    80  40.5    602.5
];
F=[13270    15924    18577    21231    21762    22293    22824
23089    23355    23620    23779    23832    23885    23938
23992    24045    24098    24151    24204    24257    24310
24416    24947    25478    26008    26539    27070    27601
27654    27707    27760    27813    27866    27919    27972
28025    28132    28238    28291    28344    28397    28450
28503    28556    28609    28662    29193    29724    30255
30520    30786    31051    31316    31847    34501    37155
];
S=[1      1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
];
ax2 = subplot(1,1,1);
%plot(V/10, MIN/10000, V/10, MAX/10000,V/10, SR/10000,
V/10, S/10);
plot(F/1000, MIN/10000, F/1000, MAX/10000,F/1000, SR/10000,
F/1000, S/10);
grid on;
ylabel('мм');
xlabel('Гц');
title ('Толщина стружки в зависимости от скорости резания
','Location','southwest');

```

```

clc;
clear;
close all;
V = [250      300 350 400 410 420 430 435 440 445 448 449 450
451 452 453 454 455 456 457 458 460 470 480 490 500 510 520
521 522 523 524 525 526 527 528 530 532 533 534 535 536 537
538 539 540 550 560 570 575 580 585 590 600 650 700];
MIN = [390  420 350 280 300 320 580 850 820 580 420 390 400
480 350 330 320 310 310 290 280 260 255 70  300 500 7  31
14  14 1200    1200    1100    1100    990 900 1300    800
750 750 750 750 695 640 640 610 410 390 290 230 220 150 220
70  20  740
];
MAX= [500  620 590 380 410 510 750 900 980 590 430 400 420
490 365 350 350 320 320 300 295 280 310 230 400 750 11  32
15  15 1250    1250    1150    1150    1000    980 1350
800 800 760 760 780 700 650 650 620 440 410 320 240 223 160
225 110 39  760
];
SR= [445      520 470 530 355 415 665 875 900 585 425 395 410
485 357.5  340 335 315 315 295 287.5  270 282.5  150 350
625 9  31.5  14.5  14.5  1225  1225  1125
1125  995 940 1325  800 775 755 755 765 697.5  645 645
615 425 400 305 235 221.5  155 223 90  29.5  750
];
F=[13270      15924  18577  21231  21762  22293  22824
23089  23355  23620  23779  23832  23885  23938
23992  24045  24098  24151  24204  24257  24310
24416  24947  25478  26008  26539  27070  27601
27654  27707  27760  27813  27866  27919  27972
28025  28132  28238  28291  28344  28397  28450
28503  28556  28609  28662  29193  29724  30255
30520  30786  31051  31316  31847  34501  37155
];
ax2 = subplot(1,1,1);
%plot(V/10, MIN/10, V/10, MAX/10,V/10, SR/10);
plot(F/1000, MIN/10, F/1000, MAX/10,F/1000, SR/10);
grid on;
ylabel('Н');
xlabel('Гц');
title ('Сила резания в зависимости от скорости резания
','Location','southwest');

```