

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния регенеративных колебаний на точность обработки детали при фрезеровании

УДК: 534-16:621.81-021.416:621.914

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM92	Харченко Денис Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Алфёрова Е.А.	к.ф.-м.н.		

Консультант

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кашук И.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

По разделу «Иностранный язык»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Михайлова О.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Результаты обучения
Направление 15.04.01 Машиностроение
ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

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

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

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

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Отделение материаловедения

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ92	Харченко Денису Витальевичу

Тема работы:

Исследование влияния регенеративных колебаний на точность обработки детали при фрезеровании	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	102-33/с от 12.04.21

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.21
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: математическая модель процесса фрезерования детали. Целью данной работы является исследование влияния регенеративных колебаний на точность обработки детали при фрезеровании путем математического моделирования процесса резания
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор; 2. Исследование резонансных частот; 3. Исследование деформаций детали при нагрузке; 4. Исследование математической модели процесса обработки детали с учетом ее жесткостных параметров; 5. Анализ результатов.
Перечень графического материала	Трехмерная модель исследуемой детали, графики исследований

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук И.В.
Социальная ответственность	Скачкова Л.А.
Иностранный язык	Михайлова О.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Influence of regenerative vibrations on machining accuracy during milling	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Козарь Д.М.			01.10.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4М92	Харченко Денис Витальевич		01.10.2019

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 122 страницы, 41 рисунок, 25 таблиц, 32 источника, 3 прил.

Ключевые слова: скорость резания, фрезерование, колебания, качество поверхности.

Объектом исследования является математическая модель процесса фрезерования детали.

Цель работы – исследование влияния регенеративных колебаний на точность обработки детали при фрезеровании путем математического моделирования процесса резания.

Новизна работы заключается в определении уровня вибрации, возникающей в системе, в зависимости от математической модели и схемы инструмент-деталь.

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

Определены значения технологических параметров математической модели обработки детали во времени. Создана программа для чтения данных, полученных другой программой, и написано программное обеспечение для создания графиков зависимостей технологических параметров. Произведен анализ полученных данных.

Оглавление

Введение.....	10
1. Литературный обзор.....	12
1.1 Технология контроля и подавления вибрации.....	16
1.2 Технология пассивного управления.....	16
1.3 Технология активного контроля.....	19
1.4 Заключение раздела.....	21
2. Расчеты и аналитика.....	23
2.1 Измерение напряжений и перемещений под действием сил, действующих на тело.....	23
2.2 Нахождение жесткости для каждой измеряемой точки.....	27
2.3 Исследование математической модели процесса обработки детали.....	31
2.4 Подбор инструмента.....	32
2.5 Анализ данных.....	36
2.6 Заключение раздела.....	49
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	53
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований.....	53
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	54
3.1.2 SWOT-анализ.....	55
3.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	59
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	59
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	61
3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	62
3.3 Бюджет научно-технического исследования.....	66
3.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	66
3.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	68
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	68
3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	70
3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	71
3.3.6 Накладные расходы.....	71

3.4	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73
3.4.1	Интегральный показатель финансовой эффективности	73
3.4.2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	74
3.4.3	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	75
3.4	Выводы по разделу	76
4.	Социальная ответственность	79
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
4.2	Производственная безопасность	80
4.3	Анализ опасных и вредных производственных факторов	82
4.4	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя	86
4.5	Экологическая безопасность	88
4.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	88
4.7	Заключение по разделу	90
5.	Influence of regenerative vibrations on machining accuracy during milling	91
	Список литературы	99

Введение

В авиационной, космической, энергомашиностроительной и других отраслях промышленности обработка деталей фрезерованием занимает одно из ключевых мест в обработке материалов. В настоящее время широко практикуется высокоскоростное фрезерование.

Во время обработки возникают вибрации, которые негативно влияют на качество обработки поверхности изделия, влияют на износ как оборудования, так и инструмента. С целью минимизации технологических деформаций и рисков используется специализированная дополнительная оснастка, что существенно повышает трудоёмкость изготовления изделий.

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.

В работе рассматриваются программные методы моделирования и анализа для исследования воздействия вибраций и деформаций на поверхность обработанной детали. Экспериментальные методы востребованы для этапа проектирования технологических процессов и отвечает современным тенденциям цифрового производства

Актуальность работы: создание программного обеспечения для исследований поведения деталей и определения параметров технологических процессов.

Объект исследования: математическая модель процесса фрезерования детали.

Цель: исследование влияния регенеративных колебаний на точность обработки детали при фрезеровании с применением систем программного

обеспечения.

Научная новизна: методы программного моделирования и анализа применяются для уменьшения влияния колебаний на деталь во время обработки фрезерованием

1. Литературный обзор

Одним из важнейших условий надежности всех технологических систем являются условия обеспечения показателей точности деталей и их качества. Колебания в технологической системе, изменяющиеся во времени силы резания, а также автоколебания являются основной причиной снижения надежности и стабильности процесса резания. Обеспечение надежности предполагает исполнения двух условий: уменьшение амплитуды колебаний до необходимого значения, который определяется из требований к качеству обрабатываемой поверхности и исключение возможности возникновения колебаний. Исходя из этого за счет увеличения виброустойчивости системы, состоящей из детали и станка, можно обеспечить высокую точность процесса фрезерования. Актуальной задачей является обеспечение точности и значительный практический интерес представляют исследования в этой области.[2]

Во время фрезеровки возникает прерывистый процесс резания. В системе фреза – деталь могут возникать вибрации при таких случаях. Вибрации имеют различные механизмы. Одними из них являются регенеративные колебания и вынужденные колебания из-за периодического характера изменения сил резания. Регенеративный тип вибраций возникает за счет возбуждения при резании поверхности, образованной во время предыдущего прохода режущей кромки инструмента (механизм запаздывания). В этом случае колебания системы происходят на частоте, отличной от частоты прохождения режущих кромок и стремящейся к одной из собственных частот системы.

Уменьшаются показатели качественной обработки и сильно увеличиваются силы резания, причиной тому являются значительные амплитуды колебаний. Рациональный выбор режимов обработки, в основу которого входит численное моделирование динамики фрезерования, позволяет в процессе обработки исключить появление регенеративных колебаний. [1]

В системе имеет место возбуждение автоколебаний, возникающих при широком диапазоне режимов резания, также возникают вынужденные колебания системы, причиной которых является переменная во времени сила резания. Регенеративный эффект является причиной возникновения колебаний.

Колебания инструмента возникают за счет переменной режущей силы, поэтому образуются «волны» на обрабатываемой поверхности детали. «Волны» срезаются при следующем проходе инструмента или же зубом инструмента, в результате также образуются неровности на поверхности. Этим и объясняется физический смысл регенеративного эффекта. Максимальная толщина снимаемой стружки может возрасти в зависимости от разности фаз между этими двумя поверхностями, это приводит к увеличению режущей силы (рис. 1).[2]

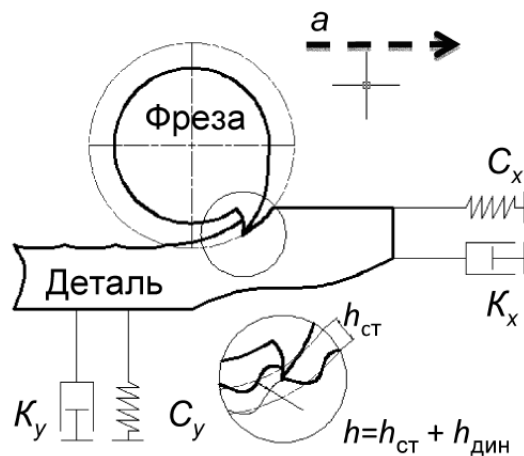


Рис. 1.1 – Регенеративный эффект

При встречном фрезеровании на обработанной поверхности можно видеть регулярные волны. При попутном направлении подачи отсутствует ярко выраженная для встречного фрезерования волнистость. Исследования показали, что при попутном фрезеровании также наблюдается появление регенеративных колебаний на поверхности резания, но с более высокой частотой и меньшей амплитудой. Сравнение значений параметра шероховатости R_a для различных условий фрезерования показывает, что в зоне интенсивных регенеративных

колебаний при встречном фрезеровании шероховатость выше, чем при попутном.

Торцовые фрезы с переменным окружным шагом зубьев используют в качестве подавления автоколебаний без уменьшения производительности обработки. В настоящее время ведущая инструментальная фирма SandvikCoromant предлагает потребителям широкий выбор торцовых и концевых фрез с нерегулируемым шагом зубьев. В то же время такие фрезы обеспечивают уверенное подавление автоколебаний только для определенных узких областей скорости резания, что сдерживает их промышленное применение. Потребность расширения области эффективного использования этих фрез обуславливает необходимость совершенствования их конструкций на основе изучения динамики работы. Во всех исследованиях использовали «альтернативный» по западной терминологии вариант изменения шага зубьев с последовательным чередованием больших и меньших шагов. При этом разность шагов соответствовала половине длины волны автоколебаний на поверхности резания.

Создание разности соседних шагов зубьев привело к снижению интенсивности колебательного движения. Наилучшие результаты получены при смещении четных зубьев в диапазоне от 3° до 6° : размах колебаний уменьшился в среднем в 6 раз; а амплитуда доминирующей гармоники понизилась в среднем в 20. Подавление автоколебаний выразилось в уменьшении глубины их следов на поверхности резания и улучшении качества обработанной поверхности. [3]

Группой Altintas и другими экспериментально проверялось прогнозирование лепестковой диаграммы устойчивости для значительного числа способов от цилиндрической концевой фрезы до сферической концевой фрезы, фрезы с изменяемым шагом зубьев и конической сферической концевой фрезы. Согласно проведенного анализа литературы установлено, что прогнозирование виброустойчивости по лепестковой диаграмме устойчивости работает только в условиях чернового фрезерования. При чистовом

фрезеровании анализ виброустойчивости затрудняется высокой прерывистостью резания.[4]

Регенеративные вибрации вызваны различиями в толщине стружки в результате разности фаз между образцом, сформированным во время предыдущего процесса резки, и вибрационным смещением при последующем процессе резки (как показано на рис. 1, где c и k - демпфирование и жесткость режущей системы, соответственно; a_e - радиальная ширина; f_t - скорость подачи, $F_{t,j}$ и $F_{r,j}$ - тангенциальная и радиальная силы резания соответственно; U_j - мгновенное угловое погружение зуба j ; V_j и V_{j1} - динамические перемещения зубцов j и j_1 соответственно). Колебания не только снижают эффективность обработки, точность обработки и срок службы инструмента и станка, но также приводят к чрезмерным потерям материала и звуковому загрязнению. Различные проблемы, упомянутые выше, привели к развитию особого исследования в области колебаний и ее возможности разрешения. [17]

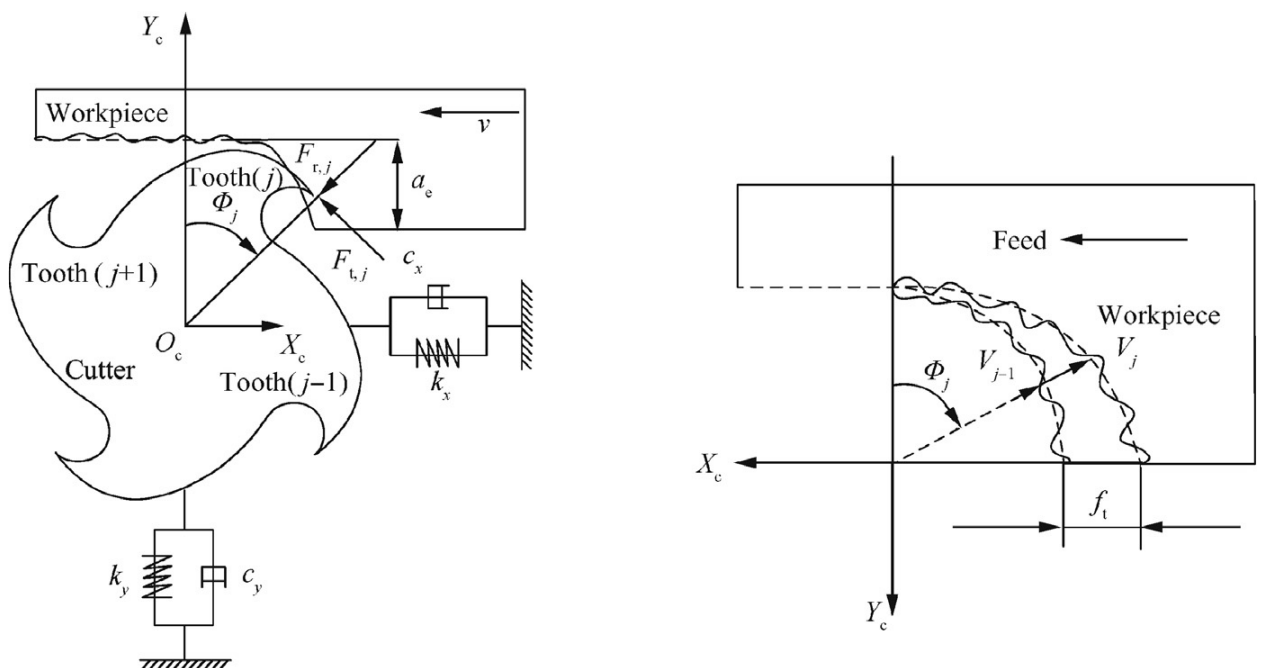


Рис.1.2 – Динамическая модель процесса фрезерования

Анализ колебаний, прогнозирование устойчивости к вибрации и обнаружение вибрации – очень сложные процессы. Каждый требует независимых исследований различных видов резания, например токарной,

фрезерной и сверления. Фрезерование используется для обработки сложных композитных деталей, в первую очередь с различными поверхностями особой формы, таким образом предлагая ряд преимуществ перед другими методами обработки. В следствии, фрезерование играет важную роль в машиностроении.

1.1 Технология контроля и подавления вибрации

Контроль и подавление вибрации – сложная проблема в фрезерных процессах. В последние несколько десятилетий технология обработки добилась большого прогресса. По мере улучшения других методов, в том числе повышение эффективности, более высокой точности, низкого уровня брака и низких производственных затрат, появляется большее усилие на разработку более эффективной технологии контроля и подавления колебаний. Методы контроля и подавления колебаний можно разделить на пассивные и активные элементы управления.

1.2 Технология пассивного управления

Технология пассивного управления направлена на повышение стабильности процессов обработки путем улучшения конструкции станка или использования оборудования, которое может поглощать дополнительную энергию или избавляться от эффекта регенерации, тем самым изменяя или модифицируя систему поведения (см. рис. 1.3, где r, s - динамическое смещение этих поглотителей, а k и c - демпфирование и жесткость режущей системы соответственно). Методом пассивного контроля обычно используют демпферы или специальные инструменты для подавления колебаний (см. рис. 1.4, где M, k_1, c_1 - масса, демпфирование, жесткость исходной системы соответственно; m, κ_2 и c_2 - масса, демпфирование, жесткость демпфера соответственно; x/x_0 - отношение динамического смещения к статическому смещению).

Ziegert в статье [7] исследовал возможность размещения механического демпфера прямо во вращающийся инструмент. Цилиндрический амортизатор вставлялся в отверстие вала вдоль осевой линии фрезы. Поскольку инструмент вращался во время фрезерования, центробежная сила между многорычажными

ударами амортизатора и корпуса инструмента создавали давление, которое вызывало рассеяние энергии за счет трения при изгибе вибрации. В лучшем случае этот демпфер может увеличить КПД до 53%.

В статье [8] Mogadi создал две степени системы свободы для процессов фрезерования и разработал оптимально регулируемый демпфер в направлениях X и Y для поддержки регенеративной вибрации прессы при боковом фрезеровании. Оптимальные параметры амортизатора получены с помощью алгоритма оптимизации пакета *Matlab*. В исследовании сделан вывод, что регулируемые амортизаторы могут эффективно улучшить стабильность процесса и иметь хорошую устойчивость в динамических моделях с неопределенными параметрами.

Регулируемый амортизатор также может уменьшить вибрацию, вызванную воздействием изгиба деталей в процессе фрезерования. Регулируемые демпферы массы (TMD) обычно используются в пассивных системах.

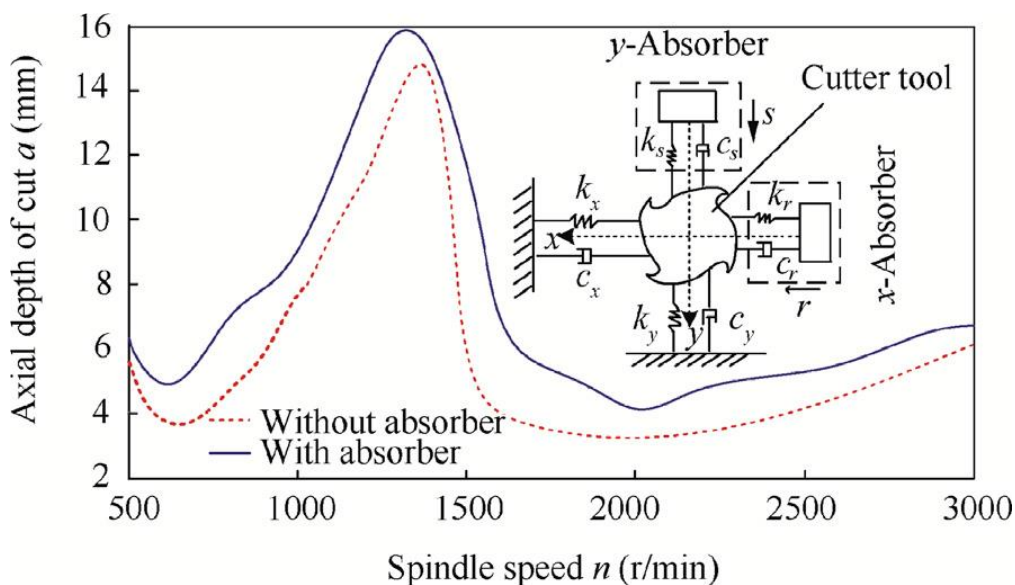


Рис. 1.3 – Влияние пассивного демпфера на устойчивость.

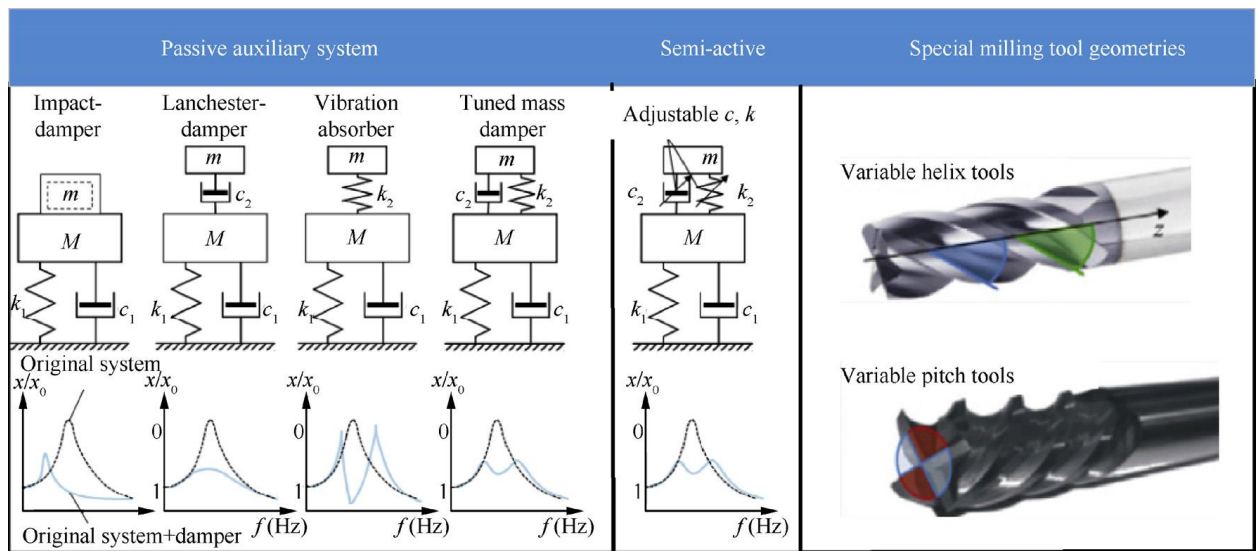


Рис. 1.4 – Технология пассивного управления

В статье [9] Burtcher и другие представил адаптивный демпфер массы (ATMD) с переменной массой и дал программу проектирования ATMD. Настоящая амплитуда частотной характеристики шпинделя системы была увеличена почти на 52% за счет преобразования генетическим алгоритмом. Эксперимент показал, что разница между доминирующей частотой шпинделя системы с ATMD или без него составила почти 17%, что доказало эффективность ATMD в снижении вибрации при резке.

Sellmeier и Denkena и Altintas в статье [10] также показали, что фрезы с переменным шагом могут улучшить осевую глубину резания для высоких частот вращения шпинделя. Однако это мало влияет на низких скоростях. Ключ к получению максимальной стабильности заключается в нахождении оптимального шага между зубьями фрезы в пределах определенного диапазона скорости шпинделя. Это привело к тому, что многие исследователи пытаются быстро разработать простейшими методами фрезы с переменным шагом фрезы для разных условий.

В статье [11] Zatarain и др. смоделировали процесс фрезерования с переменной скоростью шпинделя в частотной области. Результаты показали, что, регулируя скорость шпинделя, можно эффективно подавить вибрацию при резке при низкой скорости шпинделя, и синусоидальное изменение скорости более эффективно, чем треугольное изменение скорости для сдерживания

вибрации при резке. Модель была проверена полудискретным методом и по времени моделирование предметной области, и его корректность проверена экспериментально. Seguy изучал влияние регулируемого шпинделя скорость регенеративной вибрации станка в условиях высокого скоростного фрезерования, и получили SLD под треугольным методом полудискретизации. Было показано, что периодическая вибрация удвоения может быть эффективно подавлена изменением скорости шпинделя, хотя техника не была эффективной.

Lin и др. в статье [12] установили уравнение динамики фрезерования, который учитывал влияние вариаций шага фрезы, угол и скорость шпинделя, а также анализ линейной устойчивости выведен обновленным методом полудискретизации. Полученные результаты показали, что комбинированный процесс фрезерования показал отличные возможности избежать появления вибрации фрезерования.

1.3 Технология активного контроля

Технология активного контроля для подавления вибраций определяет динамическое поведение станков, обнаруживая их состояние, а затем корректирует их рабочие статусы активными исполнителями решения. Системы активного гашения вибраций состоят из элементов мониторинга, диагностики и исполнения. Такая технология управления становится все более популярной, благодаря прогрессу в области вычислений, датчиков и приведения в действие. Технология активного управления может привести к заметному повышению стабильности процессов.

В статье [13] Minoа и другие использовали внешние датчики ускорения видео обратной связи с контуром управления, а затем использовали собственный привод для подавления вибрации при фрезеровании процесс (см. рис. 1.5). Это привело к улучшениям во всей стабильности тяжелого фрезерования, что проверено экспериментально.

Ван Дейк и др. в статье [14] разработали методологию на основе устойчивого подхода к управлению с использованием μ -синтеза для упреждающего согласования вибрация станка в процессе фрезерования.

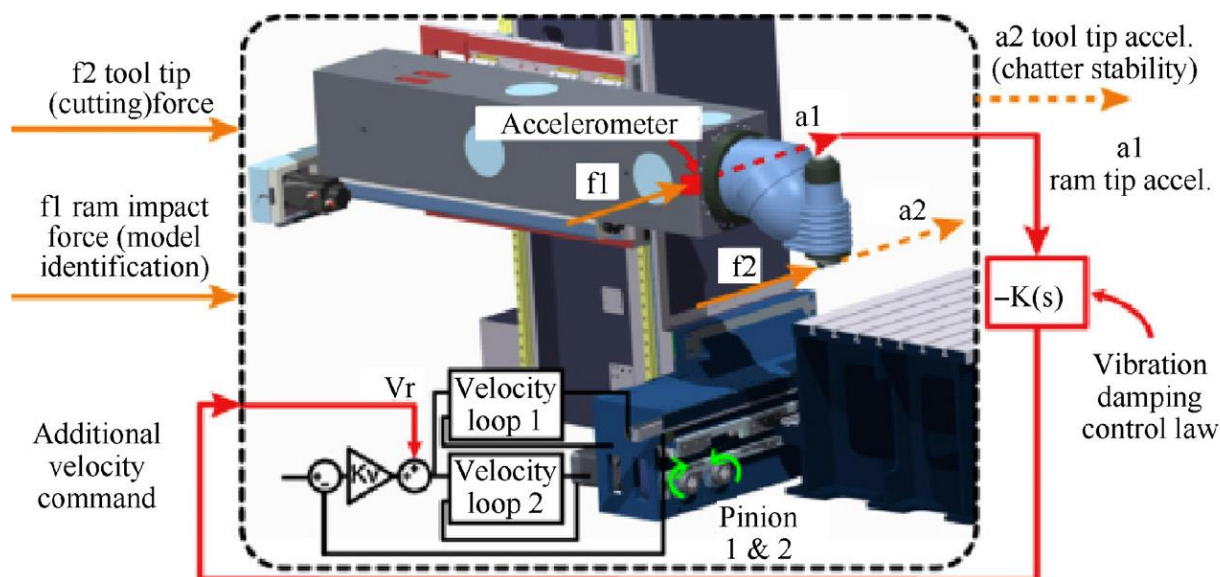


Рис. 1.5 – Активное подавление колебаний с помощью машинных приводов

В статье [15] Wang также интегрировал пьезоэлектрический привод в шпиндель, что сделало жесткость режущей системы, изменяющуюся во времени, и в конечном итоге препятствующая фрезерованию вибрация.

Dohner [16] использовали подход, в котором на кончик шпинделя устанавливали тростриktionный привод. В зависимости от сигнала технологической вибрации, обнаруженной тензодатчиком размещенным в корне инструмента, выходное напряжение можно контролировать с помощью контроллера, чтобы изменить выходную силу привода. Таким образом подавляя любое появление колебаний. Экспериментальные результаты показали, что активные системы управления в целом могут увеличить на порядок скорость съема металла.

В статье [18] проводились экспериментальные испытания в лаборатории на трехосевом фрезерном станке с ЧПУ. В станок были установлены несколько датчиков для модального анализа, измерения силы резания и обнаружения вибрации. В результате некоторые предварительные экспериментальные испытания подтвердили теоретические методы исследования.

В статье [19] представлен обширный обзор активных методов устранения вибрации при обработке. В то время как обсуждается использование демпферов в фрезерных операциях. Авторы статьи представили метод моделирования процесса фрезерования для композитного материала.

1.4 Заключение раздела

Управление / подавление вибраций можно разделить на активный и пассивный контроль. Пассивное управление обычно использует настроенную массу блоков, амортизаторов, чтобы вызвать колебания. Общая оптимизация геометрии инструмента на этапе проектирования могут значительно улучшить стабильность процесса. Однако в оптимизации инструментов нет четких и точных рекомендации по проектированию для максимальной стабильности процесса, хотя существуют методы, основанные на энергии критериев и минимизации эффектов регенерации. Влияние специальной геометрии фрезы на демпфирование требует дальнейшего изучения. Представлено моделирование динамической жесткости различных частей сустава. Демпферы настроенной массы требуют большого пространства в критическом положении, а регулировка динамической характеристики ограничены, а гаситель трения меньше, чем настроенный массовый демпфер, который может решить предел. Проблема настроенного массового демпфера, что в методе отсутствует критерий дизайна. Поскольку демпфирование тонкостенных деталей очень мало, применение технологии пассивного управления для подавления вибраций процесса по-прежнему является проблемой. Активное управление обычно включает в себя сбор информации обработки сенсора и использование математических алгоритмов для принятия решений. Затем они используются для повышения производительности привода, тем самым обеспечивая изменения состояния обработки. Однако для любого в данном приложении все еще сложно точно изменить поведение исполнительного механизма. Лишь в нескольких исследованиях рассматривались модель процесса резки и модель привода вместе, чтобы проанализировать силу, активную силу и лучшее положение для

измерения. Практически все существующие модели некоммерческие, и необходимо срочно определить лучшую стратегию разработки для создания надежной активной системы, которая открыта к реальной реализации. Другие активные методы, включая управление с прогнозированием модели, надежное управление, адаптивное управление и т.д., требуют сложных алгоритмов управления или дорогостоящего оборудования, которые не могут быть широко использованы в реальном производственном процессе.

2. Расчеты и аналитика

Преимуществом моделирования является возможность управлять динамическими свойствами детали во время проектирования. Моделирование механических систем позволяет определить параметры системы такие как максимальную амплитуду колебаний, форму колебаний, можно найти собственные частоты системы. При разных режимах во время эксплуатации конструкций определяют распределение напряжений и деформаций.

2.1 Измерение напряжений и перемещений под действием сил, действующих на тело.

Используется деталь типа пластины с размерами 100x50x50 мм. Материал был выбран аналог стали 45 – AISI 1045. Деталь зажимается в тисках и создаются усилия, имитируя врезание фрезы в деталь. Симуляция нагрузки происходит в среде SolidWorks Simulink. На рисунках представлены изображения исследуемой детали, построенной в САПР SolidWorks.

Стрелками обозначаются поверхности контакта, где фреза контактирует с деталью, а также место закрепления. Были выбраны 5 точек размерами 1x1x10 мм.

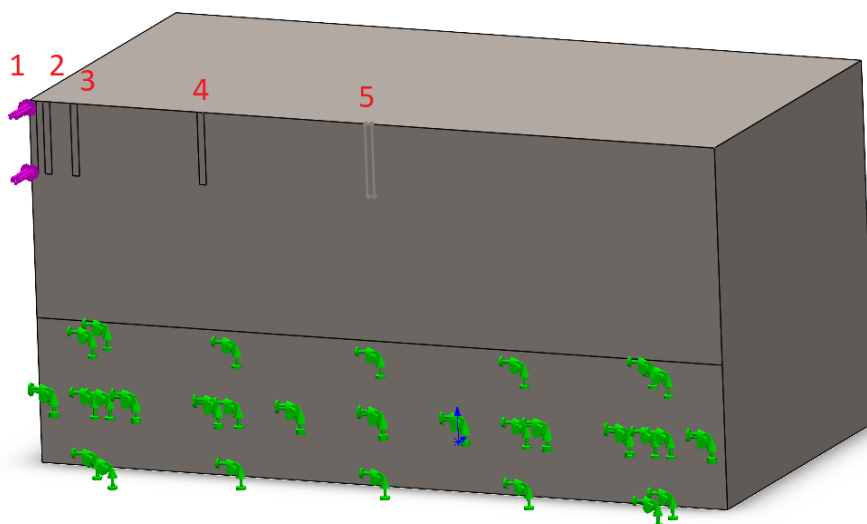


Рис. 2.1 – 3D модель детали

Прикладываются силы на каждую из выбранных поверхностей и рассчитываются напряжения и перемещения детали под действием этих сил. Для первого эксперимента прикладывается сила в 100Н.

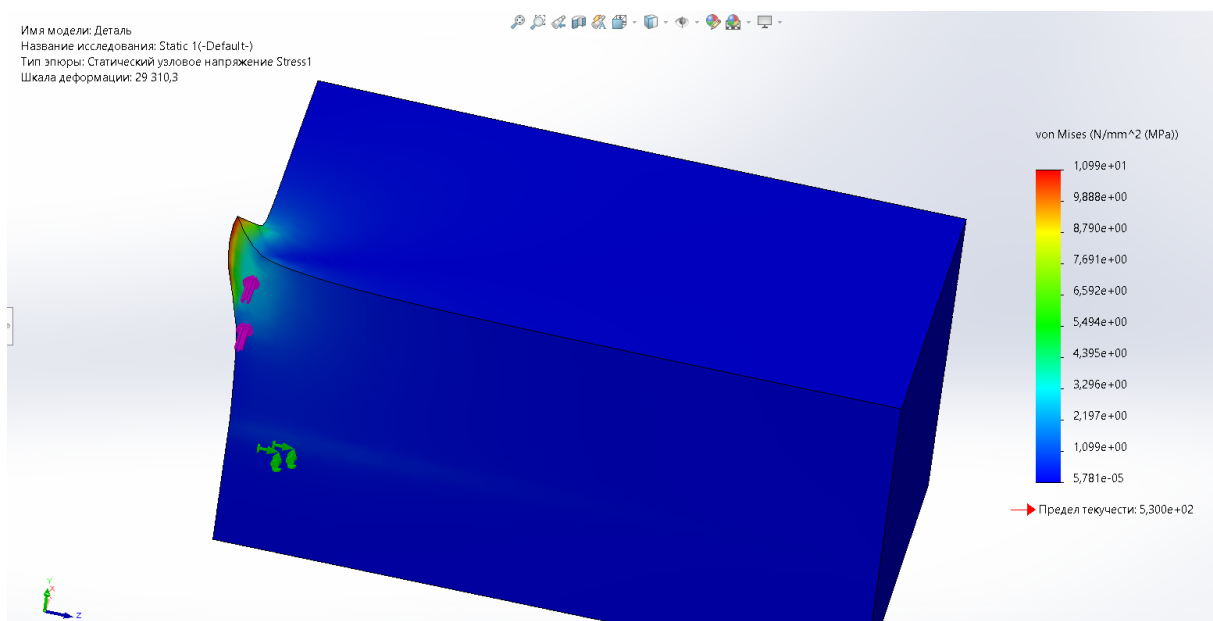


Рис. 2.2 – Напряжения для первой точки

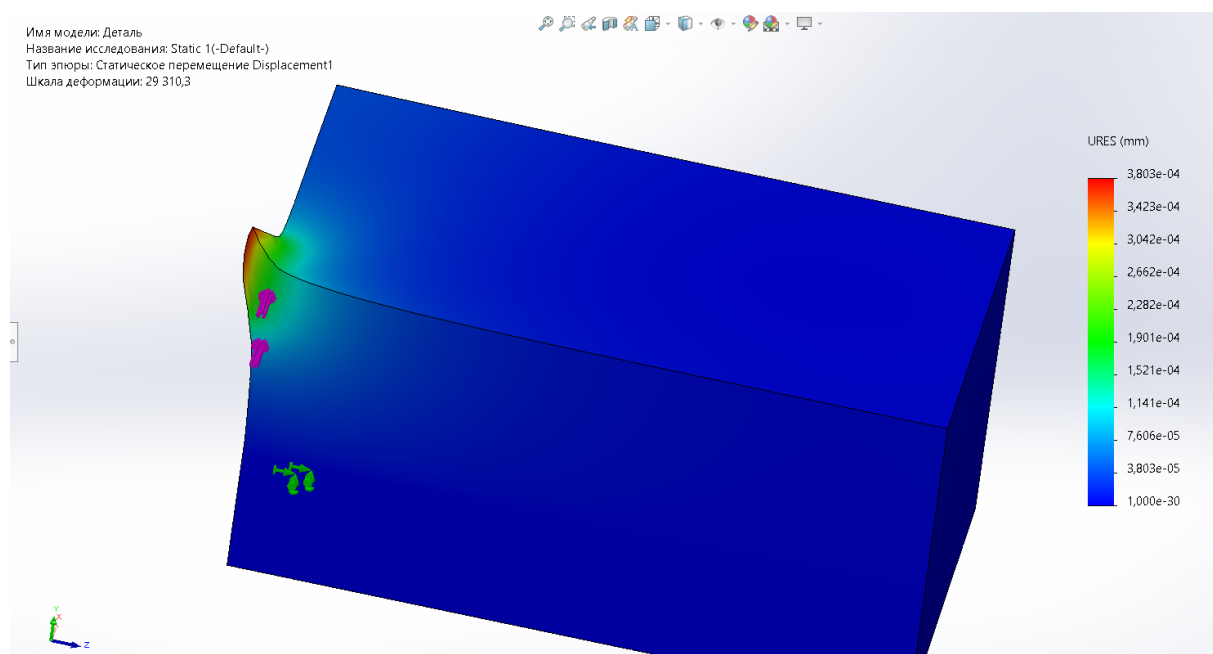


Рис. 2.3 – Перемещения для 1-ой точки

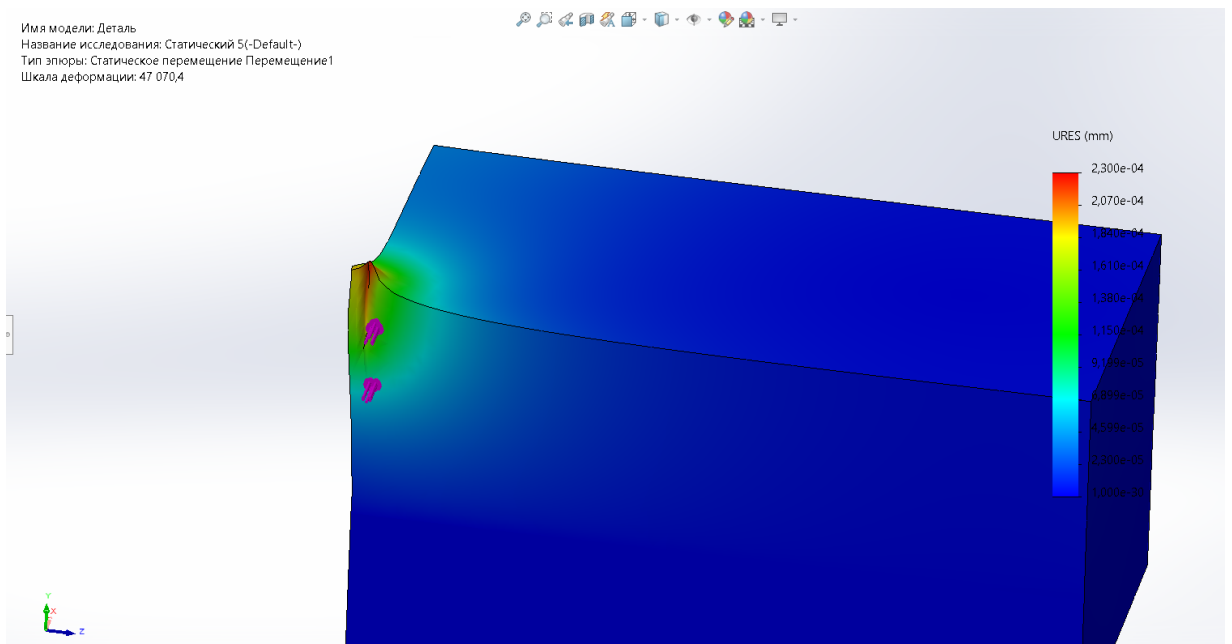


Рис. 2.4 – Перемещения для 2-ой точки

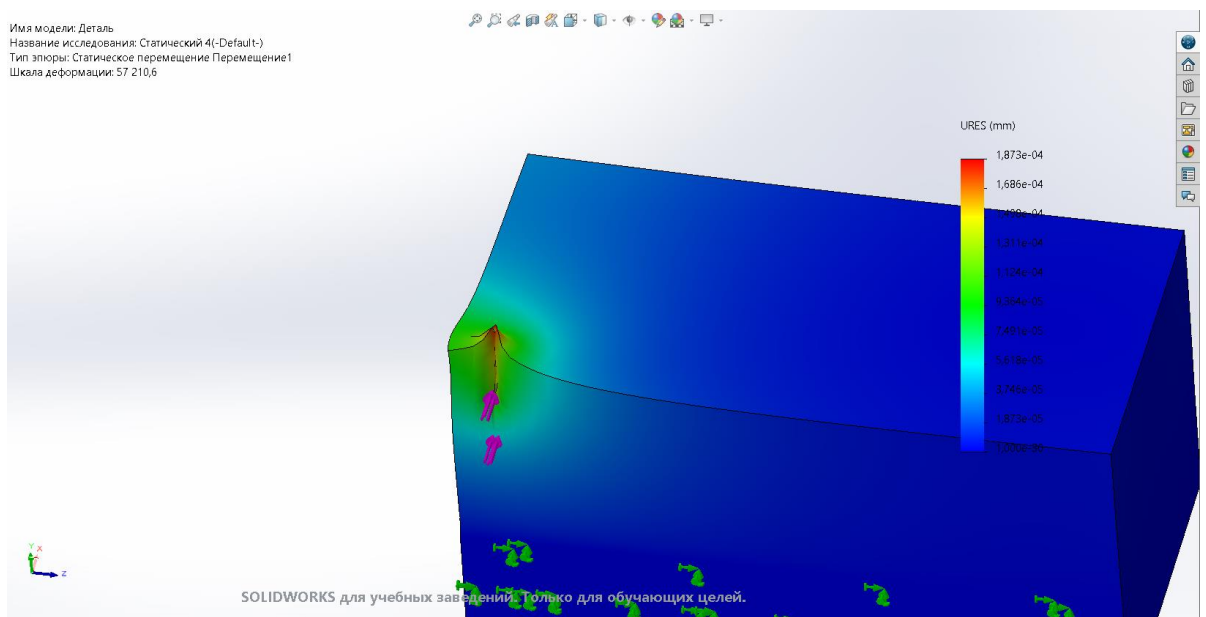


Рис. 2.5 – Перемещения для 3-ей точки

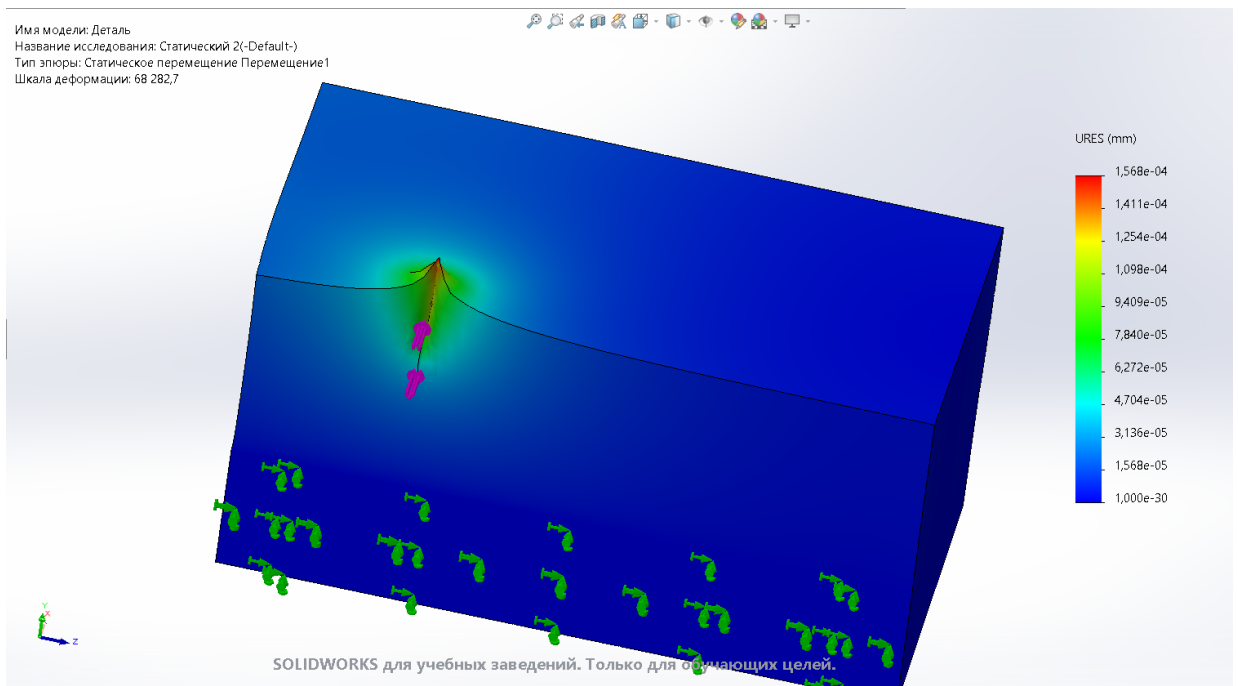


Рис. 2.6 – Перемещения для 4-ой точки

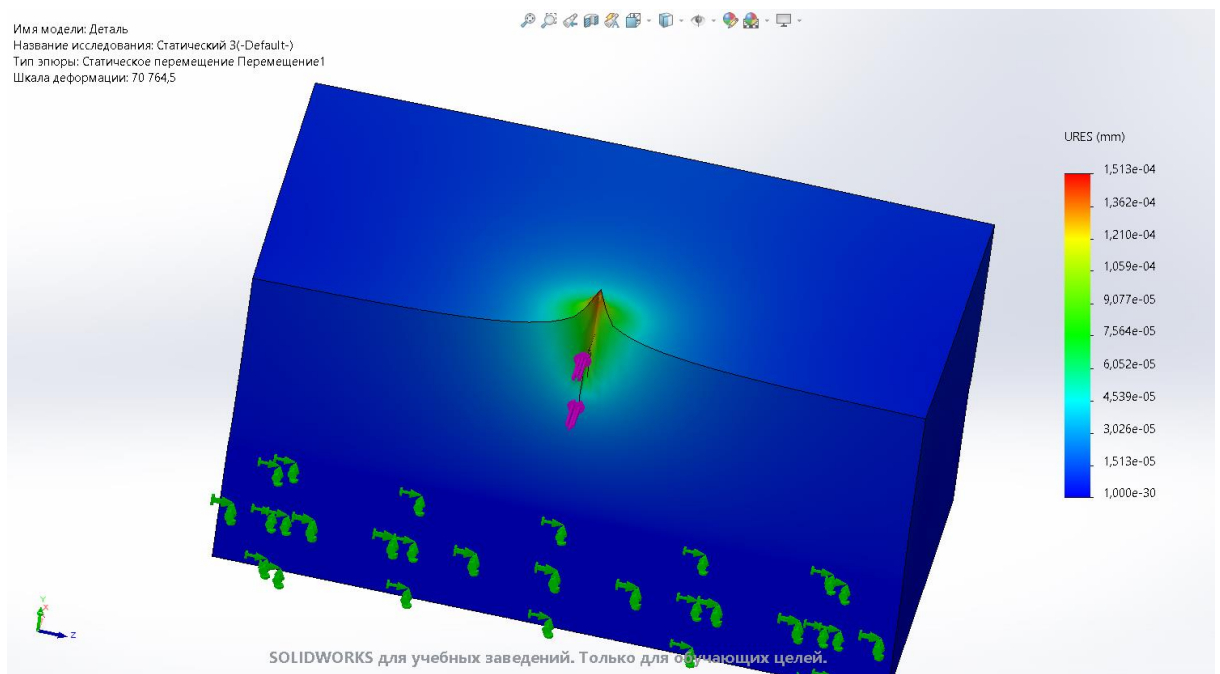


Рис. 2.7 – Перемещения для 5-ой точки

После получения результатов эксперимента изменяется сила и прикладывается нагрузка в 500Н и затем в 1000Н.

2.2 Нахождение жесткости для каждой измеряемой точки.

После получения значений перемещений найдем жесткость для каждой точки при разной силе. Занесем все данные в таблицу.

Жесткость находится по формуле:

$$C = \frac{F}{x}.$$

Таблица 2.1 – Перемещение при F1 = 100Н

	X (мм)	C (Н/мм)
1	0,00038	263157
2	0,00023	434782
3	0,00019	534759
4	0,00016	625000
5	0,00015	666666

Таблица 2.2 – Перемещение при F2 = 500Н

	X (мм)	C (Н/мм)
1	0,00190	263157
2	0,00115	434782
3	0,00093	534188
4	0,00078	641025
5	0,00075	666666

Таблица 2.3 – Перемещение при F3 = 1000Н

	X (мм)	C (Н/мм)
1	0,0038	263157
2	0,0023	434782
3	0,0019	534759
4	0,0016	625000
5	0,0015	666666

Можем сделать вывод, что жесткость при различных силах в одних и тех же точках не меняется.

Создадим график зависимости жесткости от длины детали. Математические расчеты и построение графиков выполнялись с помощью программного обеспечения Matlab R2019b и приложения cftool. За 0 был принят центр заготовки.

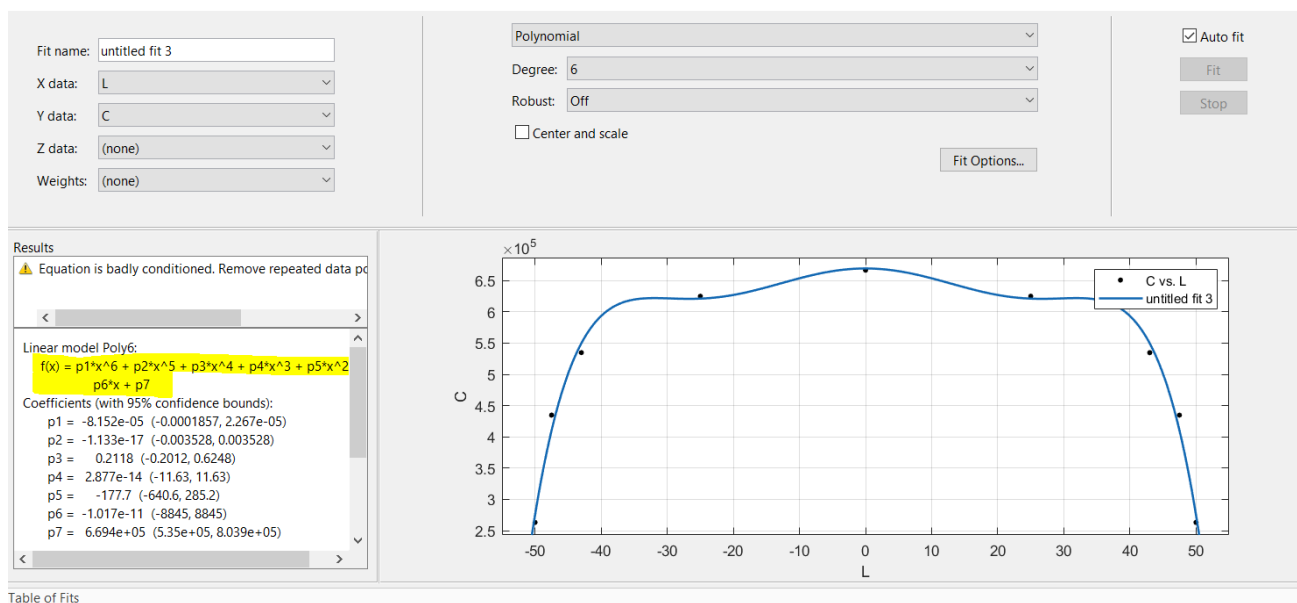


Рис. 2.8 – Зависимость жесткости от длины детали

Как видно из графика максимальная жесткость детали соответствует центру заготовки и составляет 666666 (Н/мм), минимальная жесткость на торцах заготовки и составляет 263157 (Н/мм).

Далее создается график зависимости четырех сил и перемещения детали под действием этих сил для каждой из точек. Для построения графика используется функция «roolynomial» 6 степени. В результате найдена функция жесткости.

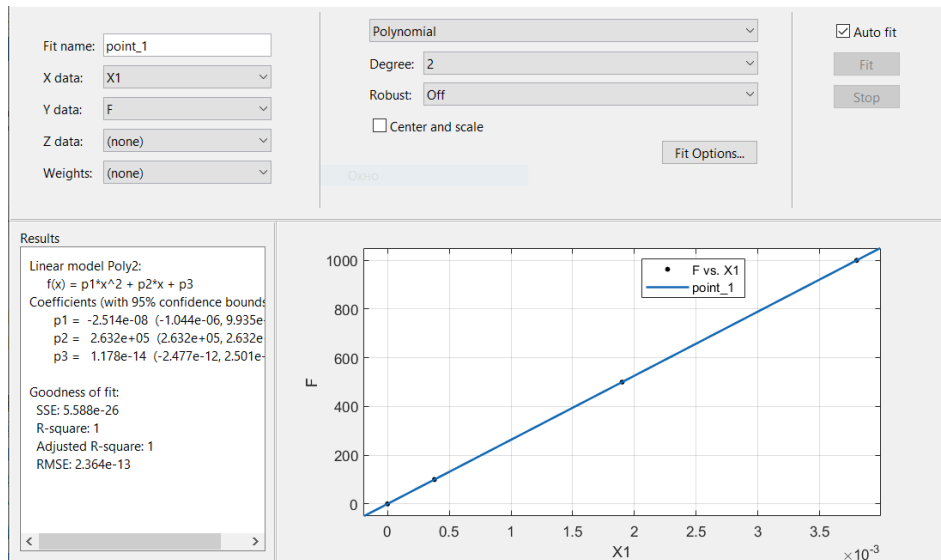


Рис.2.9 – Зависимость перемещения от действующих сил для первой точки

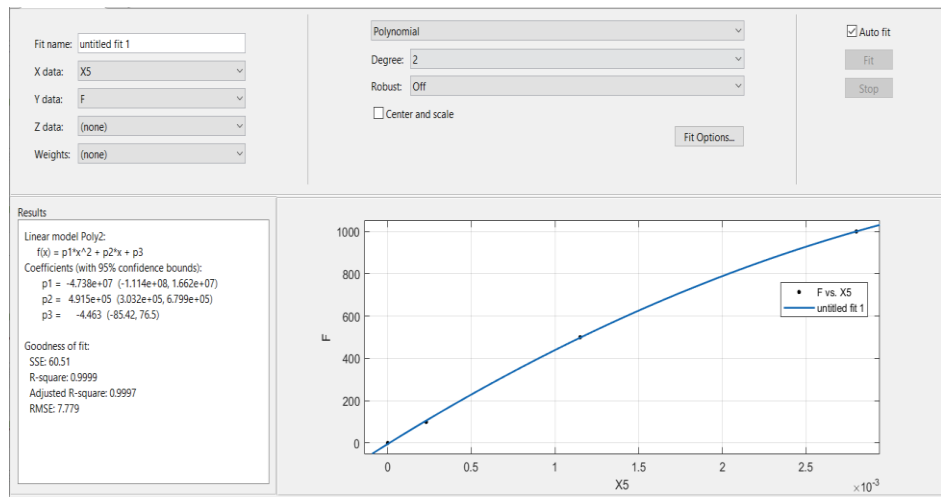


Рис. 2.10 – Зависимость перемещения от действующих сил для второй точки

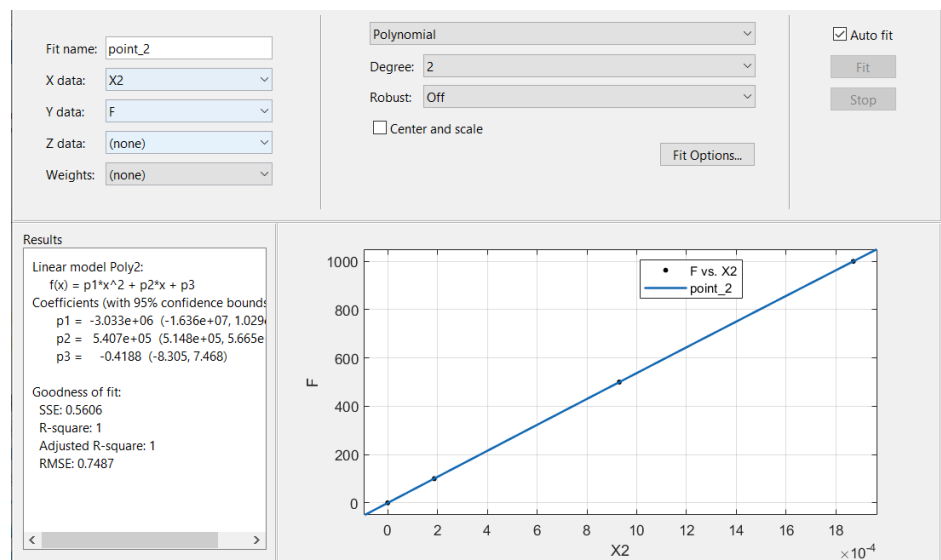


Рис. 2.11 – Зависимость перемещения от действующих сил для третьей точки

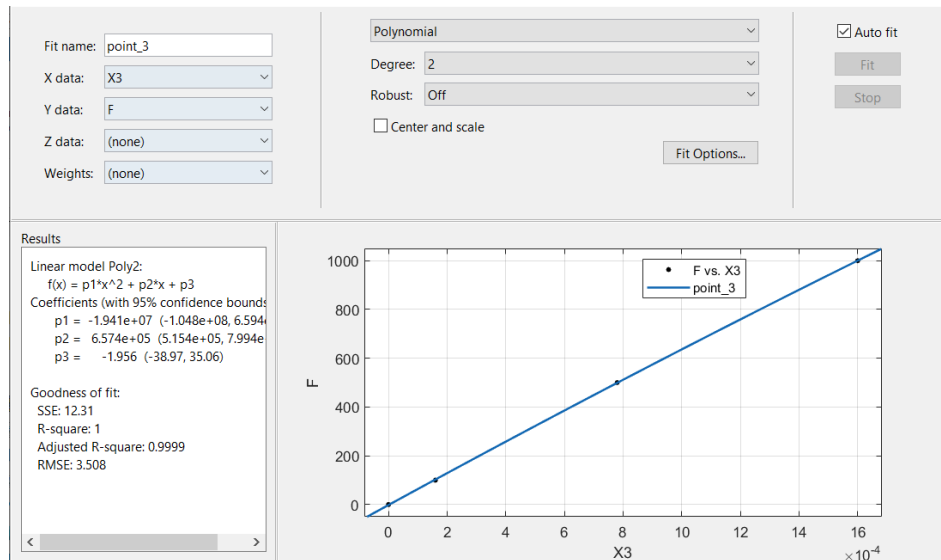


Рис. 2.12 – Зависимость перемещения от действующих сил для четвертой точки

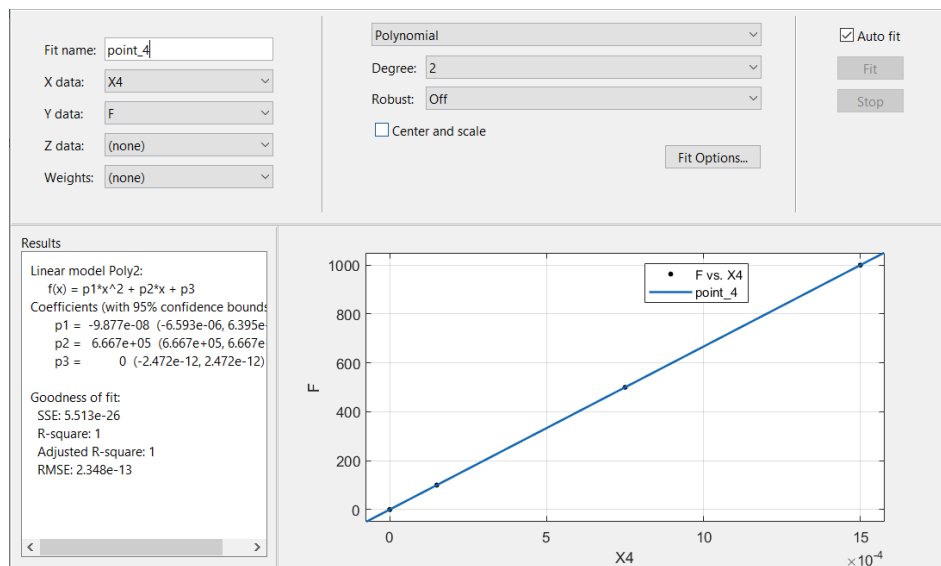


Рис. 2.13 – Зависимость перемещения от действующих сил для пятой точки

2.3 Исследование математической модели процесса обработки детали

Далее создается модель для анализа колебаний.

Вынужденные колебания модели описываются уравнением:

$$\ddot{x} + 2\lambda\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{f}{m} \cos(\gamma t); \quad (2.1)$$

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

Заменяя члены производений ω_0 и 2λ уравнения (2.1) на

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

и умножив на m обе части этого уравнения, получим уравнение вида

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + cx = f \cdot \cos(\gamma t), \quad (2.2)$$

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

$$\alpha = -\frac{F_{mp}}{\dot{x}}$$

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

Стоит отметить, что α , m и c могут быть как постоянными, так и зависеть от времени t или скорости \dot{x} , ускорения \ddot{x} . В этом смысле модель в выражении (2.2) обобщена для широкого использования.

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 точкам поверхности разные. Исследование перемещений обрабатываемой детали в реальном времени покажет на сколько сильно отклоняется при обработке поверхность детали относительно начального положения.

2.4 Подбор инструмента

В качестве режущего инструмента была подобрана концевая фреза со сменными многогранными твердосплавными пластинами R390.

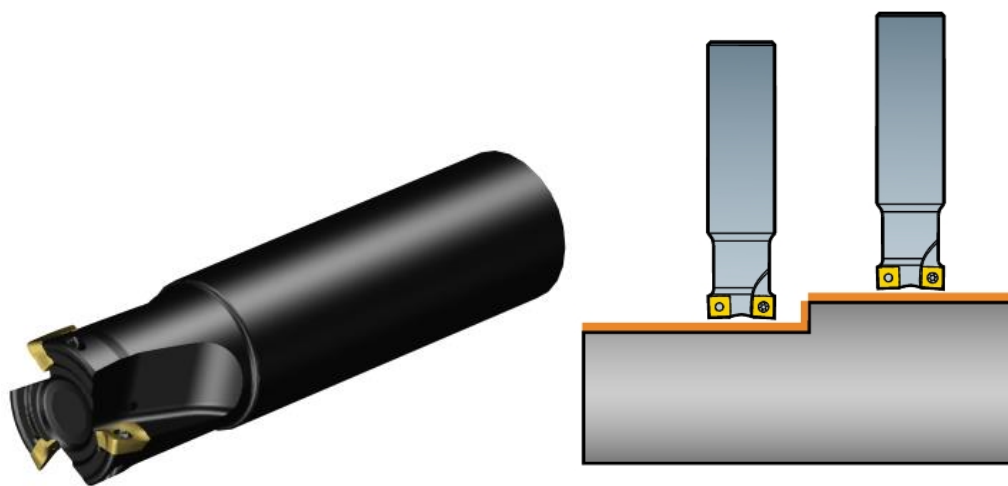


Рис. 2.14 – Концевая фреза со сменными многогранными пластинами

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.

Таблица 2.4 – Заданные параметры

Параметры	Параметры в программе	Единица измерения
Время расчета	t_max = 1.0000	с
Приращение	dt = 0.00000100	с
Скорость вращения фрезы	omega_cutter = 35.6700	Рад/с
Подача	s_z = 1	мм
Диаметр фрезы	cutter_diameter = 0.03	м
Глубина резания	depth_of_cut = 0.001	м
Число зубьев инструмента	number_of_cutting_line = 3	
Число зубьев в ряду	cutting_tooth_in_line = 1	
Масса инструмента	mass_1 = 524	
Масса опоры детали	mass_3 = 890	
Вязкость опоры инструмента	alpha_01_x = 1000	м ² /с
Вязкость опоры инструмента	alpha_01_y = 1000	м ² /с
Вязкость материала детали	alpha_12_x = 1000	м ² /с
Вязкость материала детали	alpha_12_y = 1000	м ² /с
Вязкость опоры детали	alpha_12_x = 1000	м ² /с
Вязкость опоры детали	alpha_12_y = 1000	м ² /с
Жесткость опоры инструмента	ridigity_01_x = 70000000	Н/м
Жесткость опоры инструмента	ridigity_01_y = 70000000	Н/м
Жесткость опоры детали	ridigity_30_x = 70000000	Н/м
Жесткость опоры детали	ridigity_30_y = 70000000	Н/м
Модуль Юнга	young_modulus = 200000000000	
Тип зуба	type_of_tooth = R	круг
Размер зубьев, высота	height_of_tooth = 0.007	м
Ширина	width_of_tooth = 0.0025	М
Радиус	radius_of_tooth = 0.003	М
Угол при вершине	angle_of_taper = 60	градус
Удельная сила резания	specific_force = 1992	Н
Время внедрения в деталь	implementation_time = 0.1	с

После завершения работы программы выдаются 3 файла с данными. В «output_graph_data» выводится массив чисел, состоящий из 22 столбцов. Значение каждого столбика приводится в таблице.

Таблица 2.5 – Распределение столбцов по технологическим параметрам

№ столбца	Параметр	Обозначение	Единица измерения
1	Время	t	сек
2	Перемещения колебаний фрезы по оси X	x1	мм
3	Перемещение поверхностного слоя по оси X	xed	мм
4	Величина деформации детали по оси X	X2	мм
5	Величина деформации опоры по оси X	X3	мм
6	Перемещения колебаний фрезы по оси Y	Y1	мм
7	Перемещение поверхностного слоя по оси Y	yed	мм
8	Величина деформации детали по оси Y	Y2	мм
9	Величина деформации опоры по оси Y	Y3	мм
10	Скорость перемещения детали по оси X	Vx1	мм/сек
11	Скорость деформации поверхностного слоя по оси X	Vx_ed	мм/сек
12	Скорость перемещения детали по оси X	Vx2	мм/сек
13	Скорость перемещения опоры детали по оси X	Vx3	мм/сек
14	Скорость инструмента по оси Y	Vy1	мм/сек
15	Скорость деформации поверхностного слоя по оси Y	Vy_ed	мм/сек
16	Скорость перемещения детали по оси Y	Vy2	мм/сек

17	Скорость перемещения опоры детали по оси Y	Vy3	мм/сек
18	Проекция силы на ось X	Fx	Н
19	Проекция силы на ось Y	Fy	Н
20	Толщина стружки	S	мм
21	Сила резания	Pcut	Вт
22	Мощность сил трения	Pfric	Вт

Файл данных поверхности «output_surface_data» состоит из 3 столбцов чисел. В первом столбце приводятся координаты поверхности детали с шагом от 0 до 99,9. Во втором и третьем столбце относительное изменение размера поверхности. Нас интересует относительное изменение величины размера поверхности, перепад между минимальным и максимальным значениями.

2.5 Анализ данных

С помощью полученных данных можно исследовать поведение системы во время обработки.

Для нахождения частоты колебаний следует подобрать подходящую частоту резания, для этого нужно изменять угловую частоту вращения инструмента ω_{cutter} [рад/с]. Было решено, что скорость резания меняется в диапазоне от 5 м/мин до 400 м/мин.

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

Необходимо построить графики зависимости деформации детали от времени, также деформации фрезы в зависимости от времени для наглядного отображения важных технологических параметров системы. Эта зависимость показывает врезание резца в деталь, чтобы было видно деформацию инструмента, а также деформацию стола. Одним из параметров наблюдения является толщина стружки, снимаемая в ходе обработки. На последних двух графиках приведен профиль обработанной поверхности, верхний соответствует первому проходу инструмента, нижний – второму проходу инструмента.

Программу, по которой строились графики зависимостей, можно посмотреть в приложении А.

Графики зависимостей приведены в приложении Б.

Чтобы перевести скорость резания в угловую частоту вращения нужно воспользоваться формулой. В нашем эксперименте была использована фреза диаметром 30 мм, имеющая 3 зуба. Найдем длину окружности фрезы:

$$l = \frac{30 \cdot 3,14}{1000} = 0,0942(\text{м});$$

Можем найти частоту вращения, угловую частоту вращения и максимальное время обработки:

$$n = \frac{V}{l} \cdot 60;$$

$$\omega = \frac{V}{l} \cdot 2\pi;$$

$$t_{\max} = \frac{100 \cdot l}{V \cdot 3 \cdot 0,1}.$$

Таблица 2.6 – значения скоростей для построения графиков

№	Скорость резания, м/мин	Частота вращения, об/мин	Угловая частота вращения, рад/с	Время макс., с
1	9	95	10	210
2	45	477	50	42
3	85,5	907	95	22
4	127	1350	140	15
5	162	1720	180	11,6
6	202	2145	225	9,3
7	243	2580	270	7,75
8	285	3025	315	6,64
9	324	3440	360	5,8
10	360	3820	400	5,23

На рисунках ниже располагаются графики для некоторых скоростей резания.

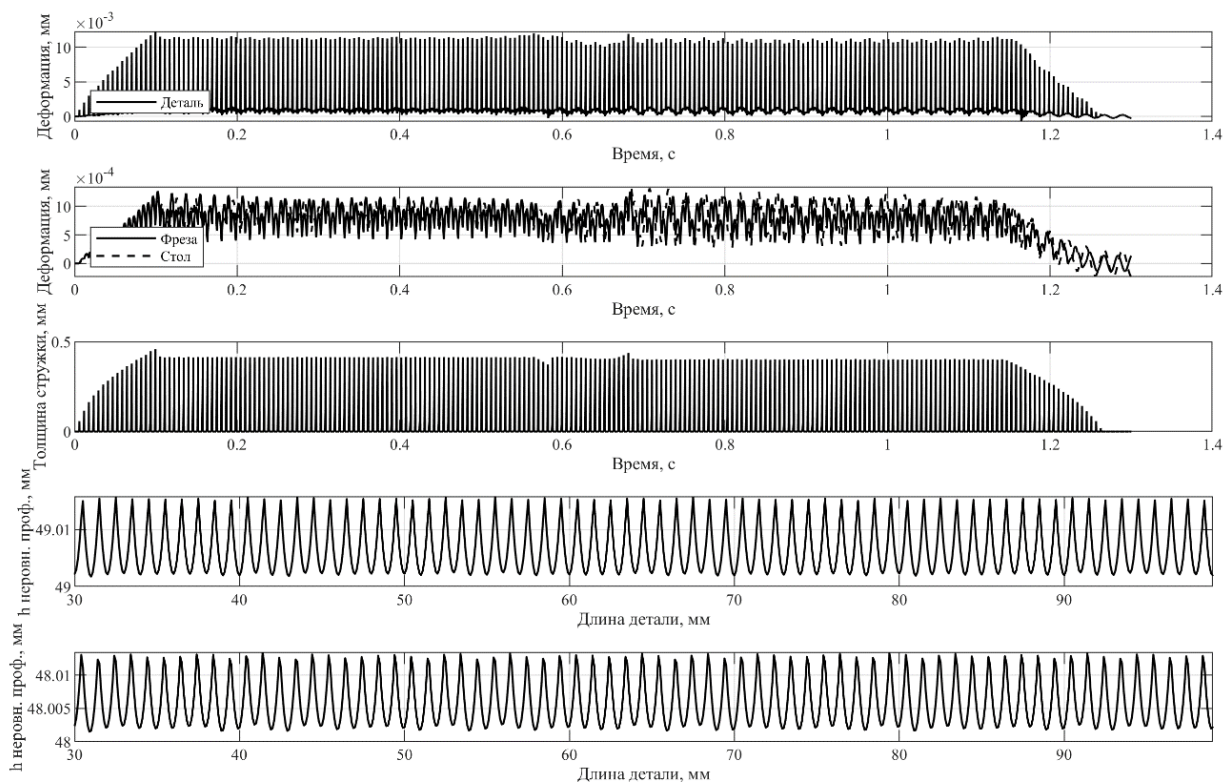


Рис. 2.15 – График зависимостей технологических параметров с учетом времени и длины жесткой детали при угловой частоте вращения 360 рад/с

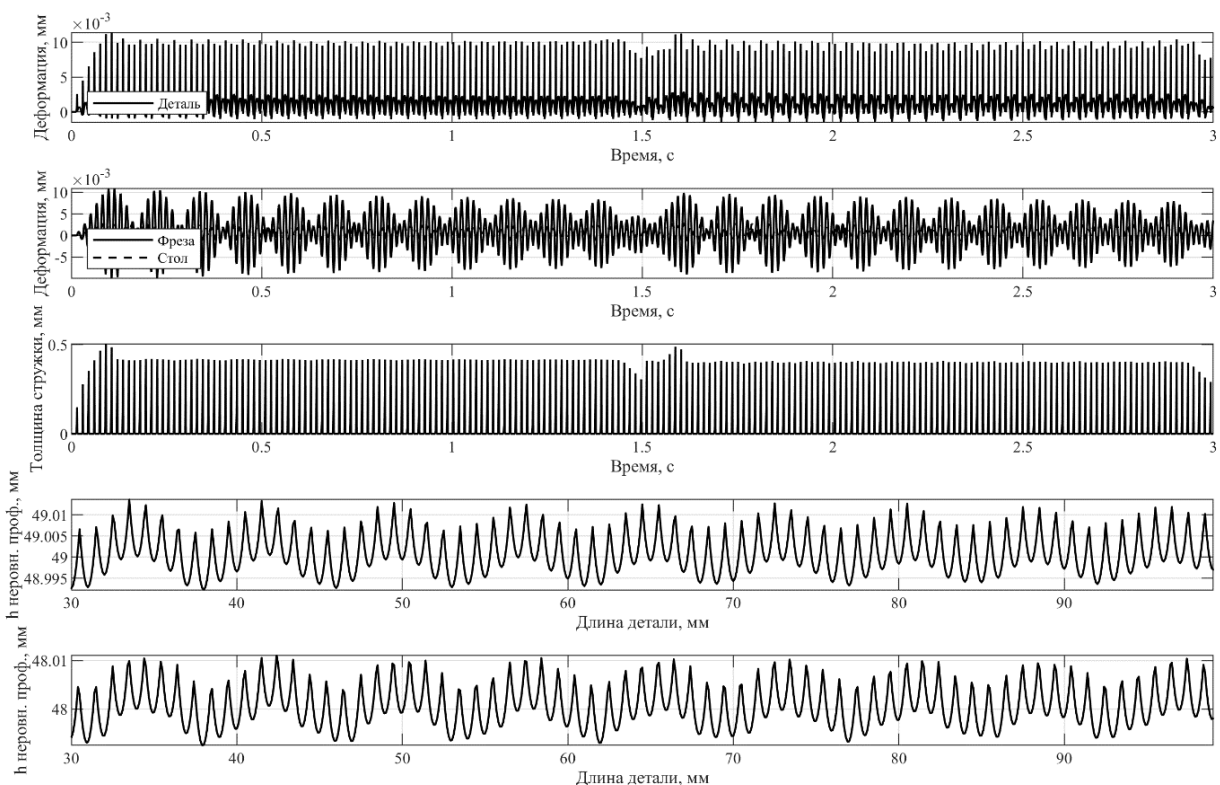


Рис. 2.16 – График зависимостей технологических параметров с учетом времени и длины жесткой детали при угловой частоте вращения 140 рад/с

Остальные графики зависимостей технологических параметров при других скоростях приведены в Приложении Б.

Далее необходимо найти разницу высоты неровностей профиля для первого и второго прохода. Измерения проводятся в двух местах на длине детали 35 мм и 50 мм.

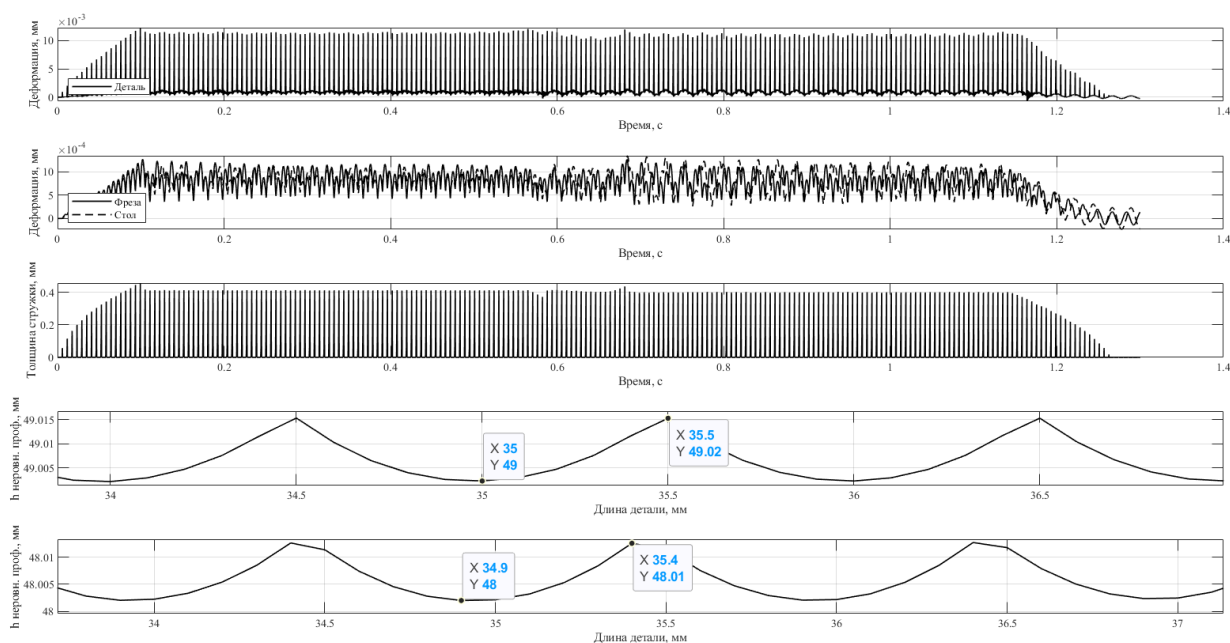


Рис. 2.17 – График зависимостей технологических параметров с учетом времени и длины детали при угловой частоте вращения 360 рад/с

Таблица 2.7 – Разница между *max* значением вершины и *min* значением впадины профиля поверхности при угловой частоте вращения 360 рад/с

	Δ при 35 мм	Δ при 50 мм
I проход	13 мкм	13 мкм
II проход	9 мкм	10 мкм

Определим Δ для остальных значений угловой частоты вращения. Впоследствии можно построить несколько графиков зависимостей для подтверждения теорий.

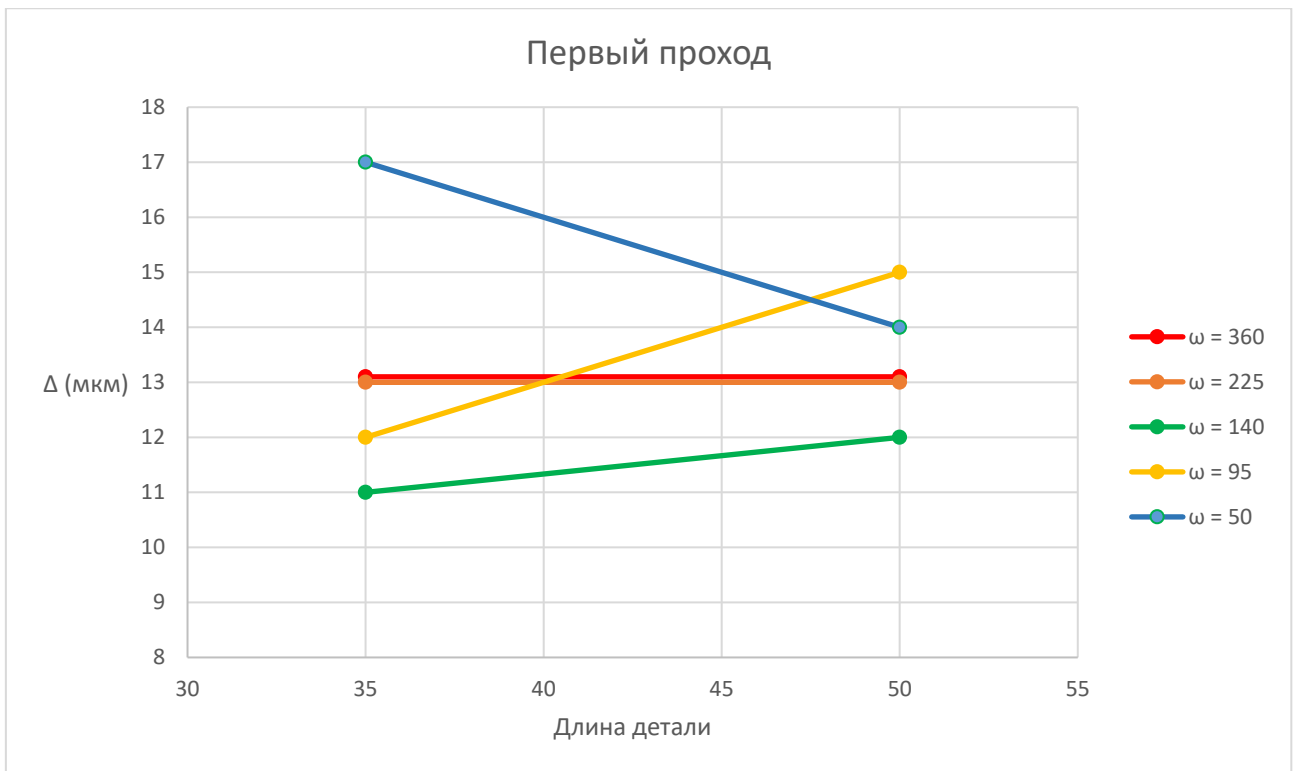


Рис. 2.18 – Значения Δ для первого прохода при разных угловых частотах вращения на двух участках измерений

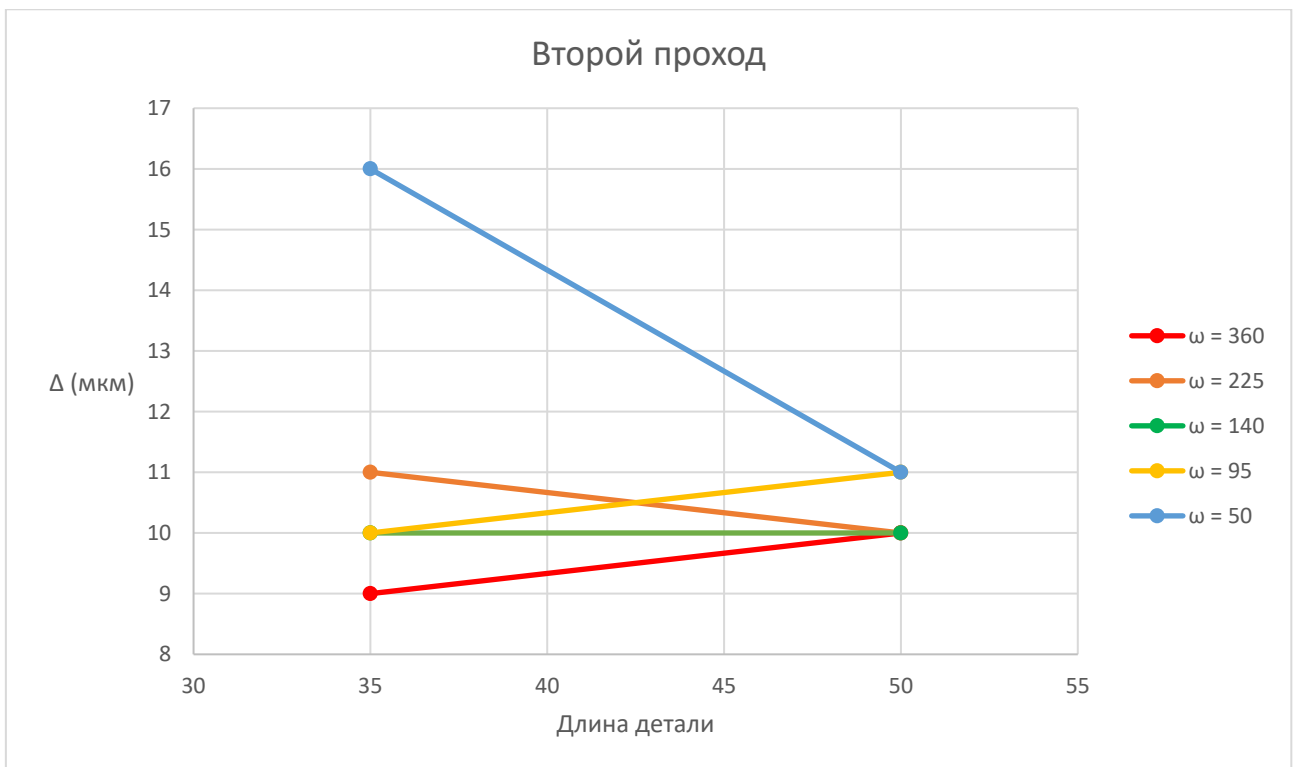


Рис. 2.19 – Значения Δ для второго прохода при разных угловых частотах вращения на двух участках измерений

Можно сделать вывод, что Δ для второго прохода при тех же угловых частотах вращения меньше, чем для первого прохода. Можем объединить эти графики на одном для наглядного представления.

На рисунке ниже изображены Δ для первого (сплошной) и второго (штриховой) проходов, одним цветом изображены линии для одинаковой угловой частоты вращения инструмента.

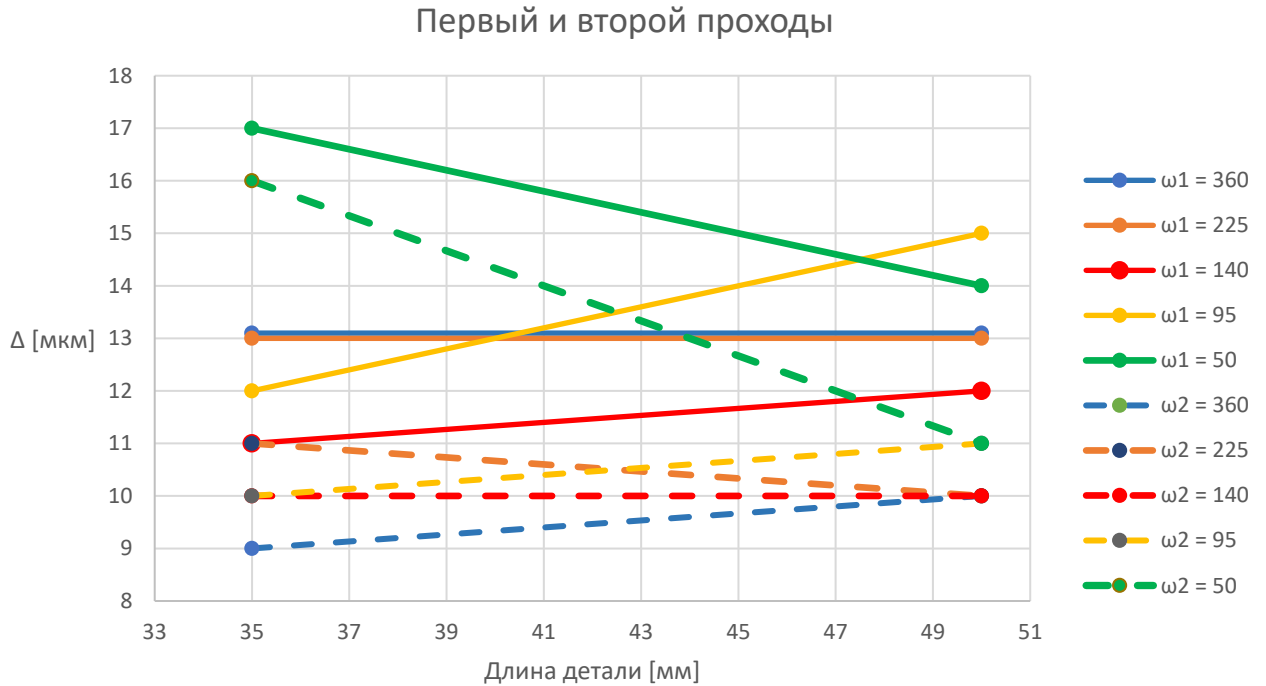


Рис. 2.20 – Значения Δ для первого и второго прохода при разных угловых частотах вращения на двух участках измерений

Следующим этапом будут построены графики зависимостей Δ от величины угловой частоты вращения. Нужно выяснить, как величина скорости резания влияет на высоту неровностей. Измерения будут приведены для двух участков детали 35 мм и 50 мм.

На рисунке ниже будет представлен график зависимости Δ от величины угловой частоты вращения при измерениях на 35 мм детали.

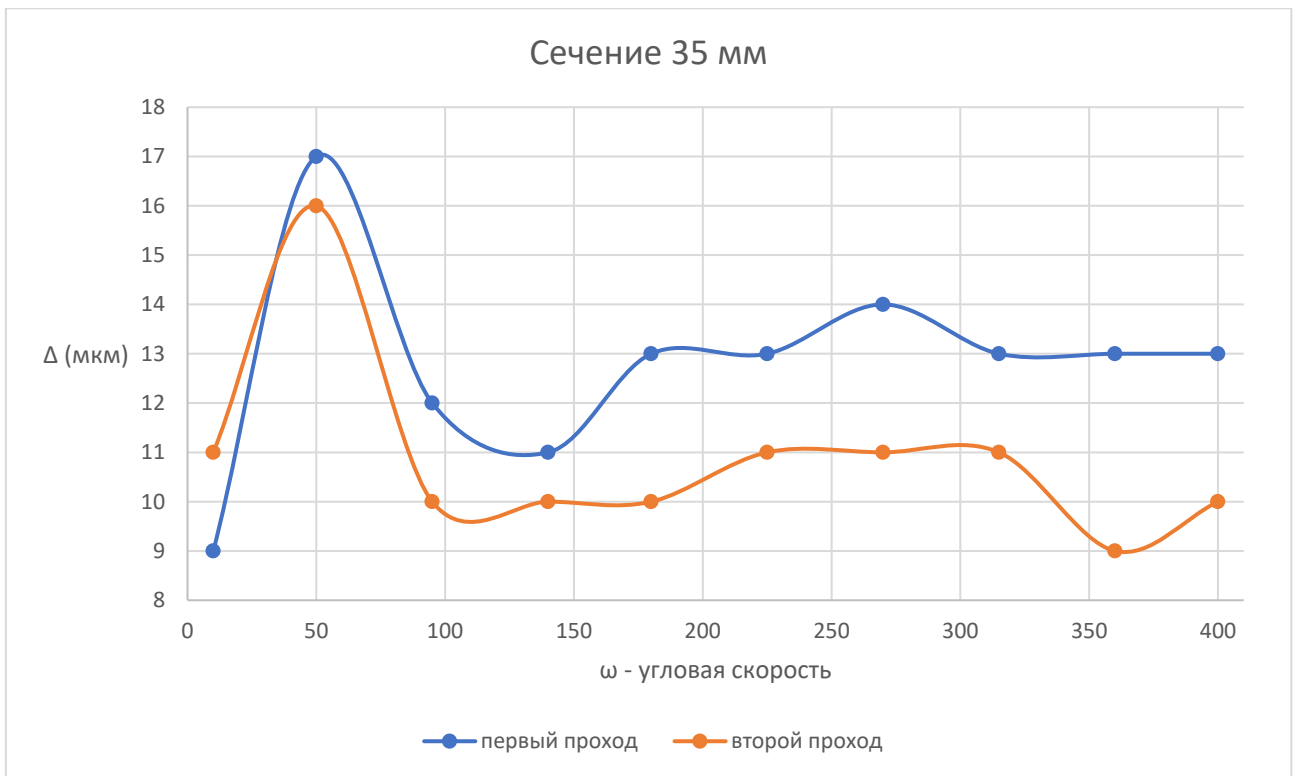


Рис. 2.21 – Значения Δ для первого и второго прохода для разных угловых частот вращения в сечении детали 35 мм.

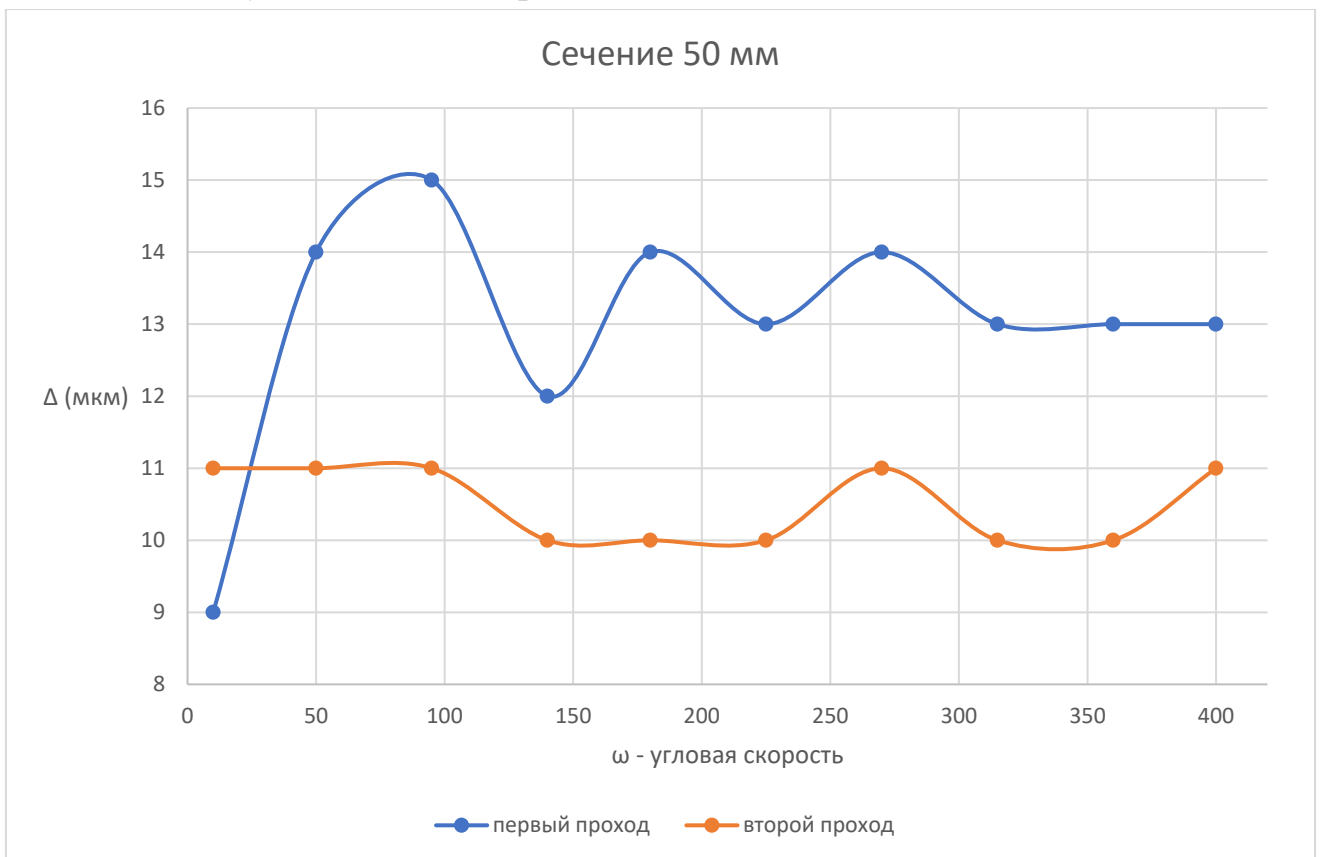


Рис. 2.22 – Значения Δ для первого и второго прохода для разных угловых частот вращения в сечении детали 50 мм.

На графиках подтверждается, что значения Δ при первом проходе больше, чем на втором, и можно увидеть, как Δ изменяется с увеличением скорости. Теперь объединим все значения на одном рисунке, представленном ниже.



Рис. 2.23 – Значения Δ для первого и второго прохода для разных угловых частот вращения в сечении детали 35 и 50 мм.

На данном рисунке видна зависимость отклонений профиля поверхности детали от величины угловой частоты вращения и сечения детали. Можно сделать вывод, что поверхность будет качественней чем больше жесткость детали, т.к. на торцах жесткость меньше. Деталь ведет себя более стабильно на высоких скоростях резания чем на малых, следовательно поверхность детали будет лучше.

Аналогично были проведены эксперименты для нежесткой детали типа пластины толщиной 4мм. В Приложении В приведены графики зависимостей.

На рисунках ниже представлены графики для нежесткой детали толщиной 4мм при некоторых скоростях резания.

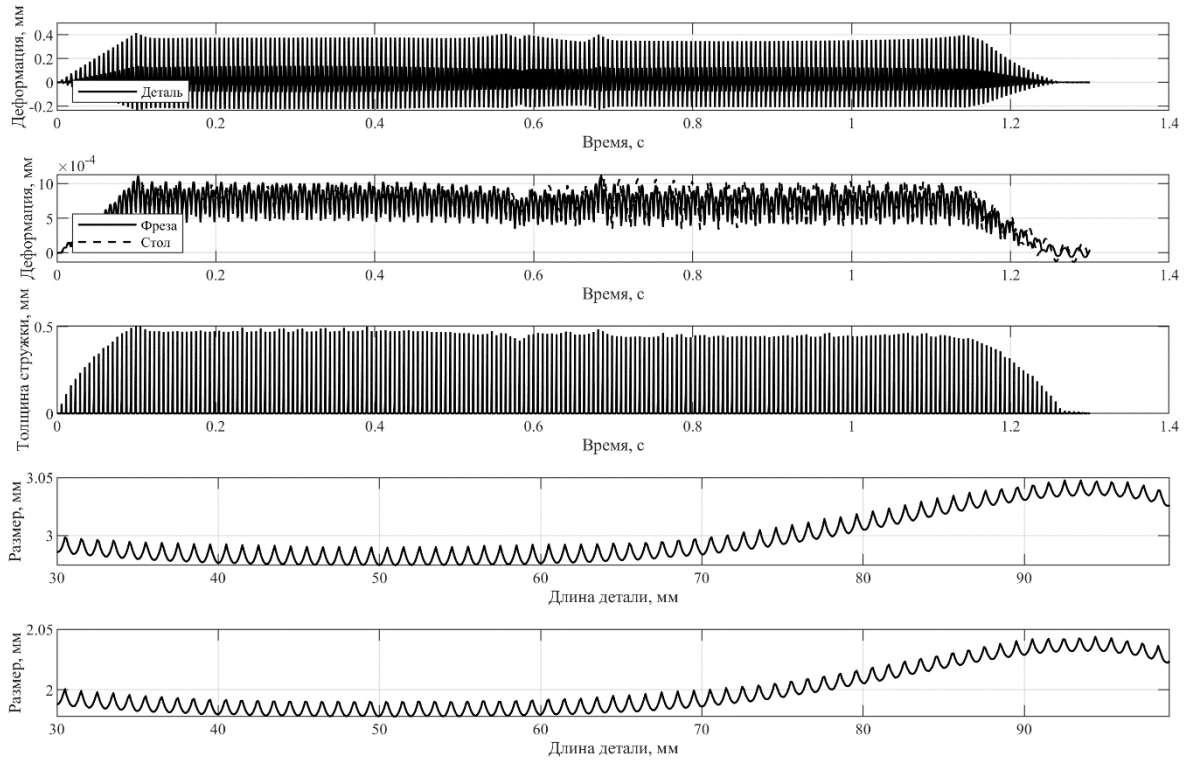


Рис. 2.24 – График зависимостей технологических параметров с учетом времени и длины нежесткой детали при угловой частоте вращения 360 рад/с

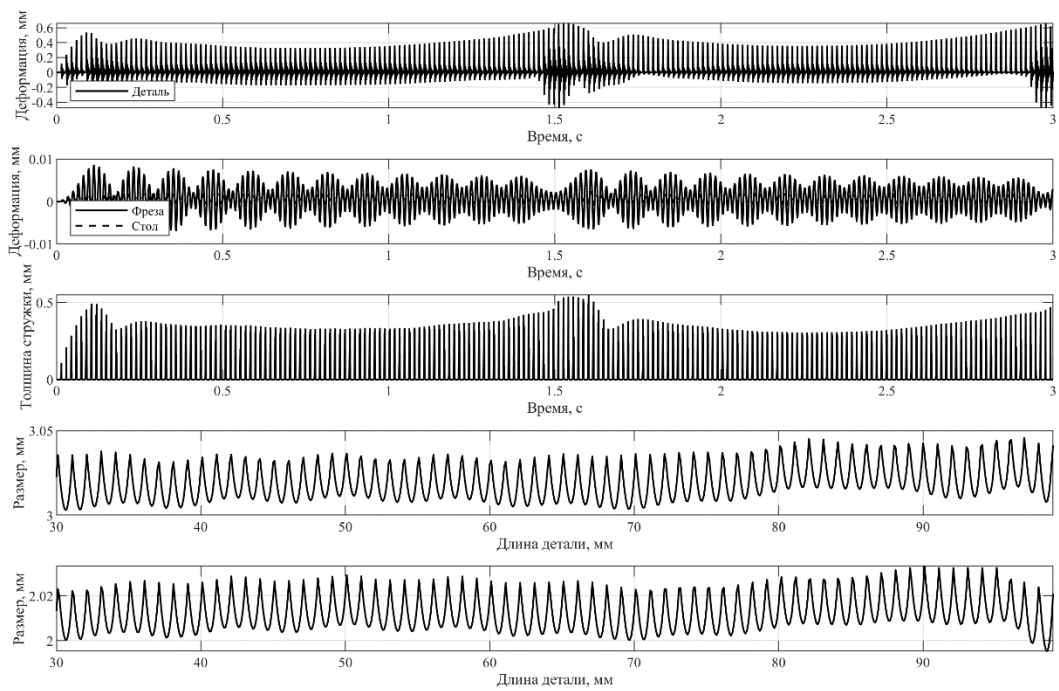


Рис. 2.25 – График зависимостей технологических параметров с учетом времени и длины нежесткой детали при угловой частоте вращения 140 рад/с

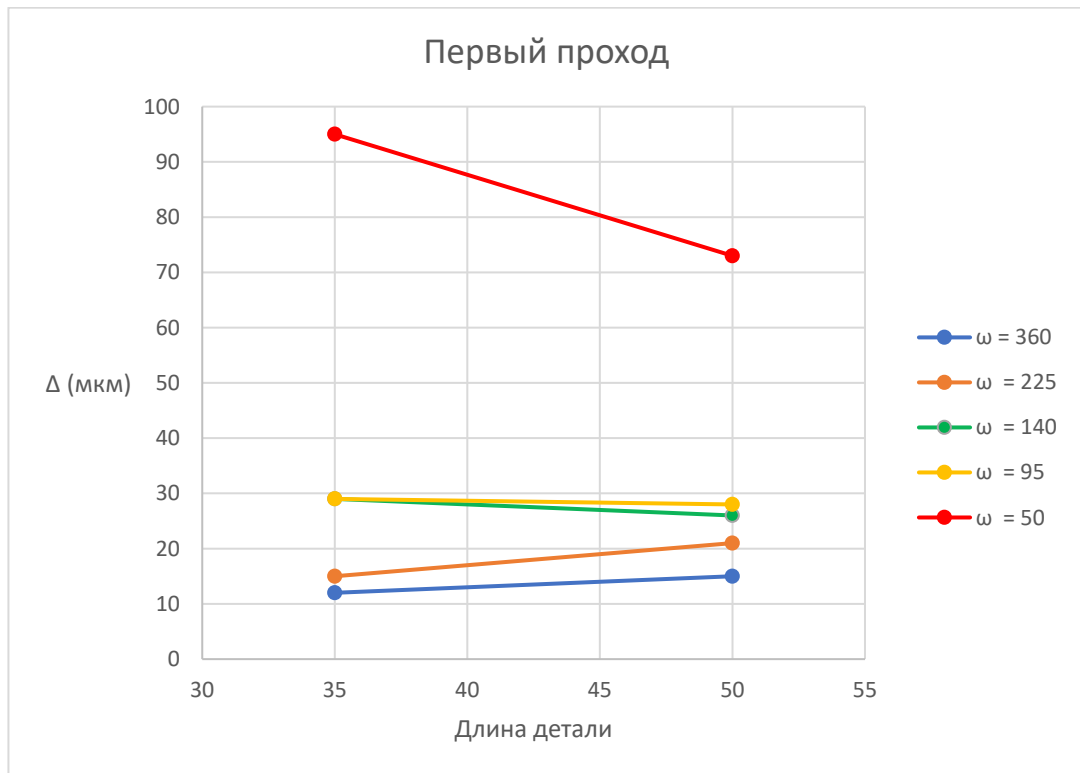


Рис. 2.26 – Значения Δ для первого прохода для разных угловых частот вращения на двух участках измерений

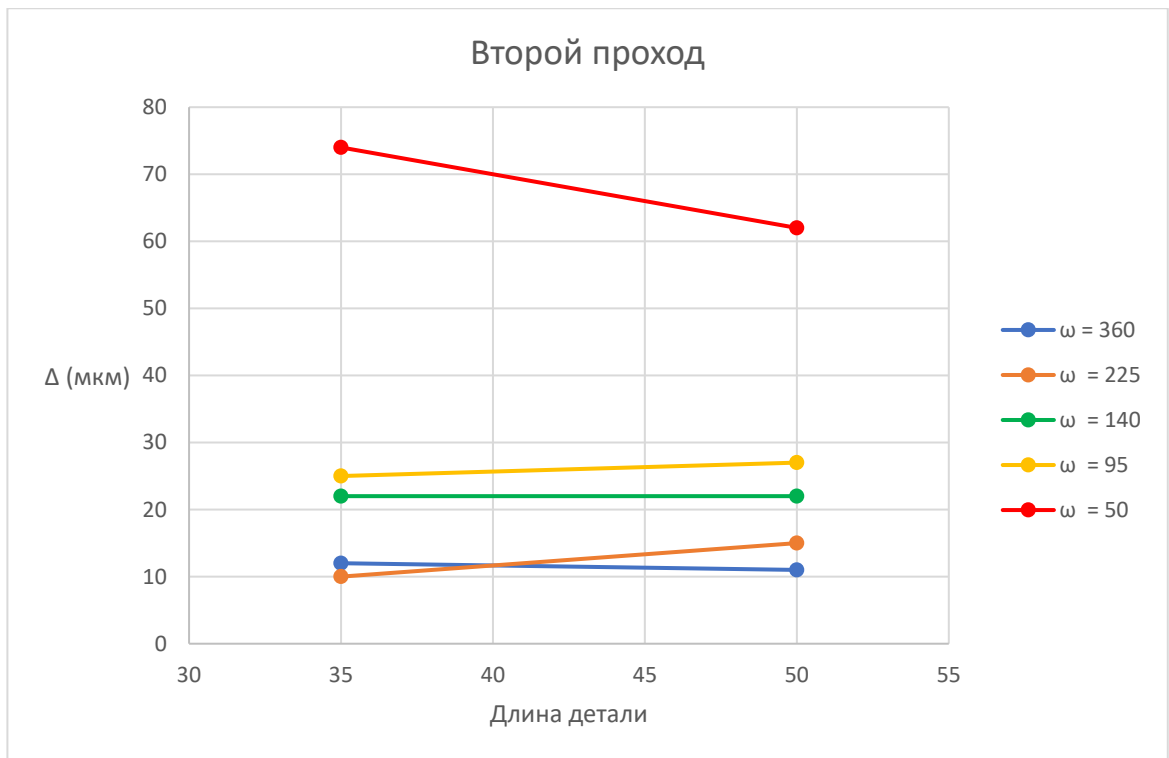


Рис. 2.27 – Значения Δ для второго прохода для разных угловых частот вращения на двух участках измерений нежесткой детали

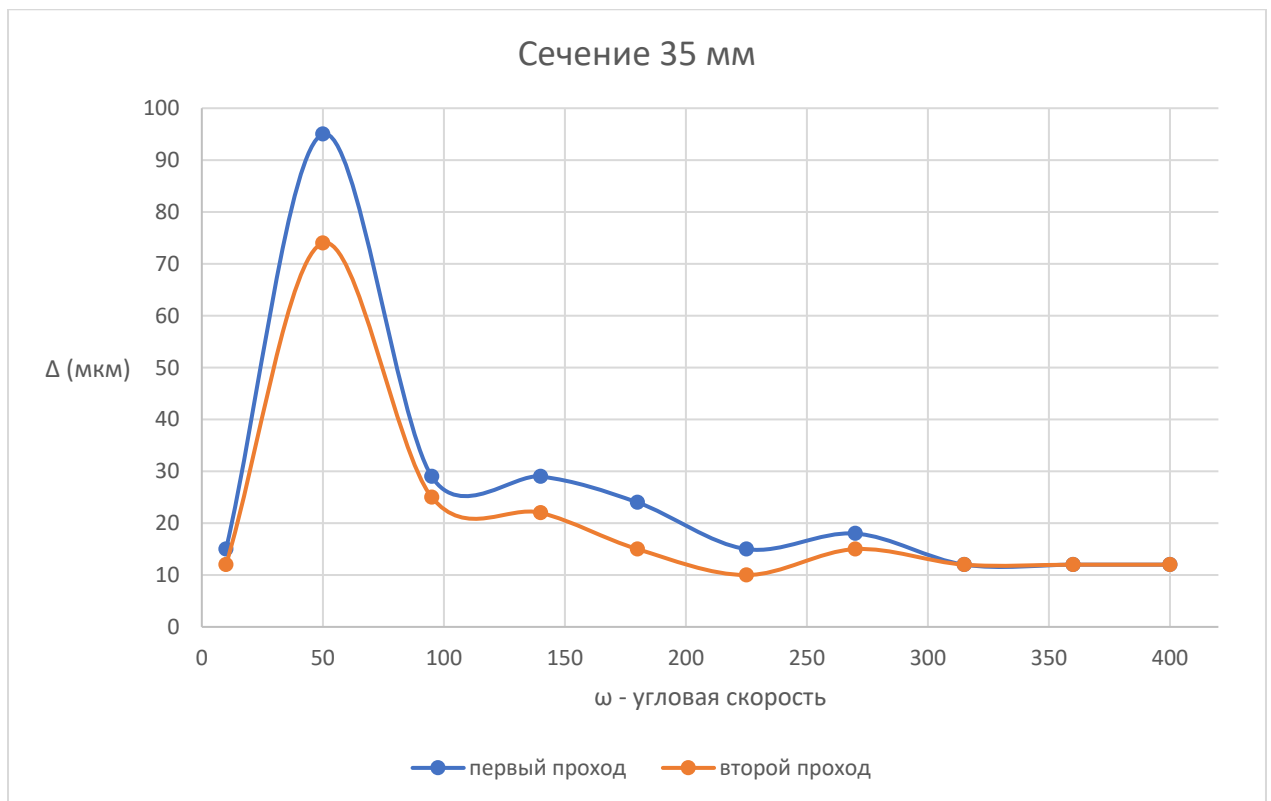


Рис. 2.28 – Значения Δ для первого и второго прохода для разных угловых частот вращения в сечении 35 мм нежесткой детали.

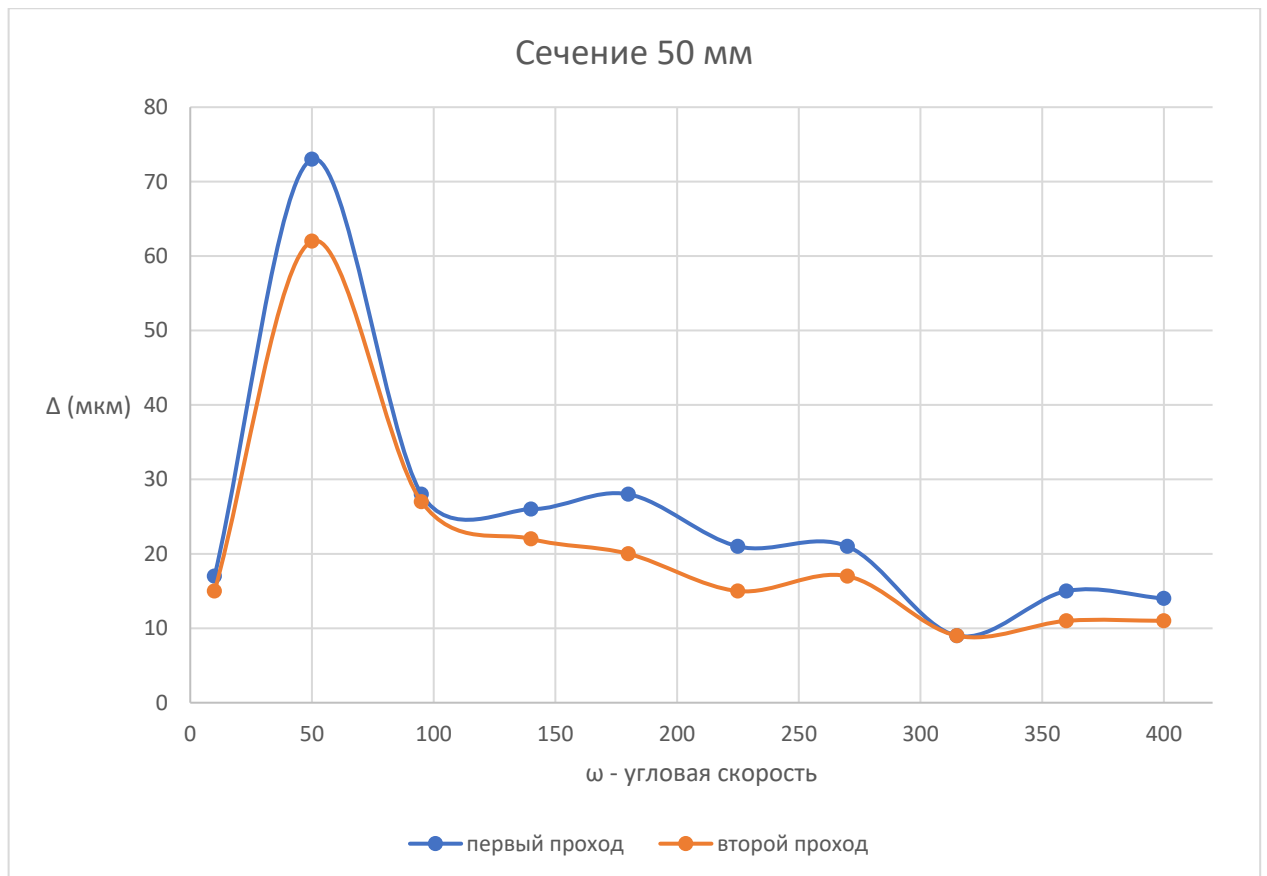


Рис. 2.29 – Значения Δ для первого и второго прохода для разных угловых частот вращения в сечении 50 мм нежесткой детали.

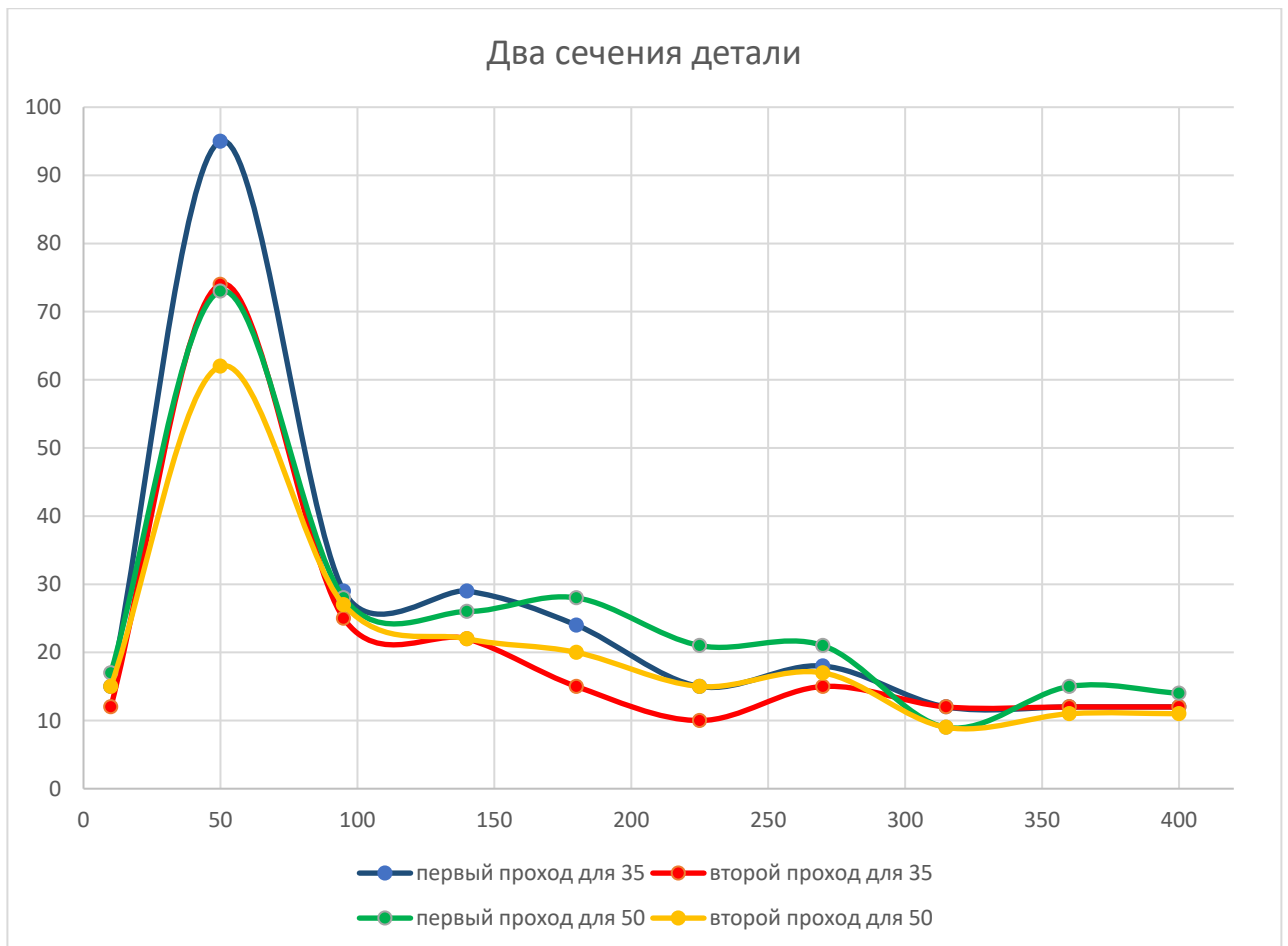


Рис. 2.30 – Значения Δ для первого и второго прохода для разных угловых частот вращения в сечении 35 и 50 мм нежесткой детали.

В итоге, если сравнивать Δ для жесткой и нежесткой деталей, можно сделать вывод что Δ для жесткой в несколько раз меньше и следовательно качество поверхности будет намного лучше.

2.6 Заключение раздела

Согласно аналитическим исследованиям, можно сделать несколько выводов. Для жесткой детали при втором проходе при одинаковых скоростях резания разница между максимальным и минимальным значением профиля поверхности Δ меньше, чем для первого прохода, следовательно качество поверхности будет лучше после двух проходов. Для жесткой детали с увеличением скорости резания разница высот профиля сначала увеличивается, затем уменьшается и в итоге стабилизируется.

При исследовании нежесткой детали типа пластины разница высот профиля поверхности больше в несколько раз по сравнению с жесткой деталью, особенно на малых скоростях. С увеличением скорости резания Δ у нежесткой детали приближается к значениям жесткой.

В ходе исследований было выяснено влияние регенеративных колебаний на точность обработки детали. Влияние регенеративных колебаний особенно заметно на малых скоростях резания от 9 до 127 м/мин. Из графиков видно, что при малых скоростях резания деформации детали больше, чем при относительно высоких скоростях. Заданная глубина резания будет больше чем необходимо, она будет меняться вследствие того, что жесткость инструмента намного выше жесткости детали и деталь отжимается от инструмента. При малых скоростях резания расстояние пиков и впадин будет больше по сравнению с обработкой на высоких скоростях.

Проведя исследование можно сделать вывод, что существует возможность изменением скорости резания, от которой зависят угловая частота вращения, частота вращения и амплитуда колебаний, влиять на точность обработки и шероховатость поверхностного слоя. Также можно отслеживать неблагоприятные моменты обработки и выявить причину их возникновения.

В настоящее время построение графиков, анализ и выбор наилучшего параметра занимают длительное время. 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 скорость резания, предугадывая колебания деталей в режиме реального времени.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ92	Харченко Денис Витальевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
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 ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		22.02.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ92	Харченко Денис Витальевич		22.02.21

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

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

В данном разделе комплексно описаны и проанализированы финансово-экономические аспекты выполненной работы. Произведена оценка денежных затрат на исследование системы. Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность проекта определяется наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами и востребованность продукта на рынке.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Цель работы: оценить эффективность разработанной компьютерной системы на процесс возникновения регенеративных колебаний при фрезеровании.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для анализа конкурентов важно реалистично оценить их сильные и слабые стороны.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$	K_{ϕ}	$K_{\kappa 1}$	$K_{\kappa 2}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Производительность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
Надежность	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
Простота изготовления	0,1	3	3	5	0,3	0,3	0,5
Точность обработки	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
Простота эксплуатации	0,1	3	2	4	0,3	0,2	0,4
Динамическая приспособляемость	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Уровень проникновения на рынок	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Цена	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	2	3	0,3	0,2	0,3
Обслуживание	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2
Итого	1	37	35	34	3,7	3,5	3,4

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

$$K = \sum B_i B_i.$$

Где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя;

B_i – балл i -го показателя.

Анализ конкурентных решений показывает, что рассмотренные варианты имеют свои преимущества и недостатки. 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.

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ проекта.

В первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табличной форме (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Высокая надежность.	Сл1. Возможные недочеты в расчетной части
С2. Низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию
С3. Высокий срок эксплуатации.	Сл3. Узкая направленность на определенную группу изделий
С4. Новое и современное оборудование.	Сл4. Отсутствие прототипа научной разработки
С5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Вероятность получения брака.
Возможности	Угрозы
В1. Использование инновационной структуры ИШНПТ ТПУ	У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.

В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Возможность перехода производств на новые технологии	У3. Отсутствие спроса на новые технологии
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Необходимо построить интерактивную матрицу проекта. С ее помощью сможем разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Таблица 3.3 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	–	+	0
	В2	+	+	+	–	+
	В3	0	–	+	–	+
	В4	+	–	0	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: В1С1С2С4, В2С1С2С3.

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	–	+	–	+	–

	B2	0	0	0	0	-
	B3	-	-	+	-	+
	B4	-	0	-	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: В1Сл1Сл3, В3Сл1Сл2.

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	+	+	+
	У3	+	0	0	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У2С3С4С5.

Таблица 3.6 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и слабые стороны проекта: У1Сл1Сл2Сл3.

В третьем этапе составляем итоговую матрицу SWOT-анализа.

Таблица 3.7 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокая надежность С2. Низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3. Высокий срок эксплуатации С4. Новое и современное оборудование С5. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Возможные недочеты в расчетной части Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию Сл3. Узкая направленность на определенную группу изделий Сл4. Отсутствие прототипа научной разработки Сл5. Вероятность получения брака</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной структуры ТПУ В2. Появление потенциального спроса на новые разработки В3. Возможность перехода производств на новые технологии В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж</p>	<p>В результате развития технологий в данной области и улучшения обработки повышается качество выпускаемой продукции. Научно-исследовательская работа осуществляется на базе ТПУ.</p>	<p>Создание лабораторий, оснащенных современным оборудованием, позволит избежать ошибок при проектировке. Появится возможность качественной проверки опытных образцов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Снижение стоимости разработок конкурентов У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У3. Появление более совершенных технологий производства</p>	<p>С появлением у конкурентов новых производственных технологий возникнет вопрос разработки и внедрения инноваций.</p>	<p>Недочеты в математической модели и низкая производительность труда приведет к снижению спроса на данную продукцию.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке. Перспективность разработки можно считать высокой. Моделирование процесса обработки на ЭВМ дает возможность более широко исследовать влияние различных параметров на точность и качество обработки деталей. В связи с этим актуальным является создание вычислительных программ для исследования поведения податливых деталей и определения параметров технологических процессов.

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Успех проведения работы зависит от рационального распределения нагрузки по времени этапов, что позволяет более эффективно распределять и использовать ресурсы ее исполнителей.

В данном разделе составим список этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по категориям работ. В таблице 3.8 представлены планируемые этапы работ и исполнители.

Таблица 3.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания, выбор направления исследований	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Обзор литературы	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Литературный обзор статей по данной теме на русском и иностранном языках	Инженер
	4	Проведение патентных исследований	Инженер
Моделирование и исследование в программной среде SolidWorks	5	Моделирование детали	Инженер
	6	Проведение симуляции нагружения в программной среде	Инженер
Исследование и анализ в программной среде Matlab	7	Анализ результатов	Научный руководитель, инженер
	8	Построение графиков функций	Научный руководитель, инженер
	9	Подбор наилучших параметров обработки	Научный руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
Оформления отчета по исследовательской работе	11	Составление отчета и технологической документации	Инженер
	12	Разработка презентации	Инженер

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого значения трудоемкости используют данную формулу:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}.$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн..

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %. Продолжительность работы определим по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}.$$

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Построение ленточного графика проведения научных работ является наиболее удобным и наглядным примером. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, которые характеризуются датами выполнения работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}.$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48;$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$k_{\text{кал}}$ – количество праздничных дней в году.

Таблица 3.9 – Временные показатели проведения научного исследования

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		$t_{ож\ i}$, чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Подбор и изучение материалов по теме	-	11	-	15	-	13	13	19
3. Литературный обзор статей по данной теме на русском и иностранном языках	-	4	-	7	-	6	6	9
4. Проведение патентных исследований	-	2	-	3	-	2,4	2,4	3,5
5. Моделирование детали	-	2	-	4	-	3	3	4
6. Симуляция нагружения в программной среде	-	13	-	18	-	15	15	22
7. Анализ результатов	14	14	20	20	16	16	16	24

8. Построение графиков функций	-	2	-	5	-	3	3	4,5
9. Подбор наилучших параметров обработки	7	7	14	14	10	10	10	15
10. Оценка эффективности полученных результатов	3	3	5	5	4	4	4	6
11. Составление отчета и технологической документации	-	7	-	14	-	10	10	15
12. Разработка презентации	-	2	-	4	-	3	3	4,5
Итого:	26	67	43	109	32,8	85,4	88,2	130,5

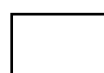
Таблица 3.10 – Календарный план-график проведения НИ

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февр.		март			апрель			май			июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение ТЗ	НР	4	■														
2	Подбор и изучение материалов по теме	И	19		□													
3	Литературный обзор статей по данной теме на русском и иностранном языках	И	9				□											
4	Проведение патентных исследований	И	3,5															
5	Моделирование детали	И	4															
6	Симуляция нагружения в программной среде	И	22															
7	Анализ результатов	НР, И	24															
8	Построение графиков функций	И	4,5															
9	Подбор наилучших	НР, И	15															

	параметров обработки																		
10	Оценка эффективности полученных результатов	НР, И	6																
11	Составление отчета и технологической документации	И	15																
12	Разработка презентации	И	4,5																



– научный руководитель



– инженер

3.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

3.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i N_{расxi}$$

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

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 3.11 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, (Z_m), руб
Канцелярские принадлежности	5	340	1700
Картридж для принтера	1	3490	3490
Офисная бумага	1	490	490
Итого:			5680

3.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Для работы над проектом использовался ноутбук. Амортизацию рассчитаем линейным способом. Первоначальная стоимость ПК 35000 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 4 месяцев. Тогда:

- месячная норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{12 \cdot 3} \cdot 100\% = 2,8\%$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_r = 35000 \cdot 0,028 = 980 \text{ руб}$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 980 \cdot 4 = 3920 \text{ руб}$$

Таким образом, в материальные затраты необходимо включить сумму амортизации основных средств в сумме 3920 руб.

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Исходными нормативами заработной платы данных категорий работников является оклад, определяющий уровень месячной заработной платы в зависимости от объема и ответственности работ. Величина расходов на заработную плату определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{дн}$ – 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):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 26300(1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 54704 \text{ (руб.)}.$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата по тарифной ставке;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}.$$

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

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

Таблица 3.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные	52	104
– праздничные	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск	48	24
– невыходы по болезни	5	10
Действительный годовой фонд	246	213

Таблица 3.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$, руб.	k_{np}	k_o	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	26300	0,3	0,3	1,3	54704	2735	32,8	89708
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	35360	1859	85,4	158758
Итого								248466

3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и

общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 89708 = 10765 \text{руб}$$

для инженера:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 158758 = 19050 \text{руб}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{внеб}}(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,15(89708 + 10765) = 15070 \text{руб}$$

для инженера:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{внеб}}(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,15(158758 + 19050) = 26671 \text{руб}$$

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

3.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}} = 329622 \cdot 0,2 = 65924$$

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

Таблица 3.14 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
3920	5680	248466	29815	41741	329622	65924	395546

В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 3.15 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Аналог.1	Аналог.2
1	Материальные затраты НИР	5680	6400	7720
2	Затраты на специальное оборудование	3920	10600	14000
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	248466	248466	248466
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	29815	29815	29815

5	Отчисления во внебюджетные фонды	41741	41741	41741
6	Накладные расходы	65924	67404	68348
Бюджет затрат НИР		395546	409146	410090

3.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

3.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 395546$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 409146$ руб, $\Phi_{\text{исп.3}} = 410090$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{395546}{410090} = 0,96;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{409146}{410090} = 0,99;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{410090}{410090} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

3.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,25	4	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	5
3. Энергосбережение	0,15	4	4	4
4. Стабильность работы	0,15	4	5	4
5. Материалоёмкость	0,3	5	4	4
ИТОГО	1	4,3	3,9	4,15

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 = 4,3;$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 = 3,90;$$

$$I_{p3} = 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 = 4,15.$$

3.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}}.$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,3}{0,96} = 4,47, \quad I_{исп.2} = \frac{3,9}{0,99} = 3,93, \quad I_{исп.3} = \frac{4,15}{1} = 4,15.$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{сп1} = \frac{I_i}{I_1};$$

$$\mathcal{E}_{сп1} = \frac{4,3}{4,3} = 1,00 \quad \mathcal{E}_{сп2} = \frac{3,93}{4,3} = 0,91, \quad \mathcal{E}_{сп3} = \frac{4,15}{4,3} = 0,96.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта.

Таблица 3.17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	0,99	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	3,90	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	4,47	3,93	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,91	0,96

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод об эффективности разрабатываемой технологии.

3.4 Выводы по разделу

Вывод №1: результат анализа конкурентных технических решений заключается в том, что текущий проект является самым конкурентоспособным вариантом по сравнению с аналогами.

Вывод №2: в процессе планирования для руководителя и инженера построен график реализации данного этапа работ, который способствует оценке и планированию рабочих времени исполнителей. Общее количество дней для выполнения работ составляет 130,5 дней. Общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 126,5 дней. Общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 49 дней.

Вывод №3: для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, значение которого составляет 395546 рублей.

Вывод №4: Результаты оценки эффективности текущего проекта представляются ниже:

- значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,96, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;
- значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,3, по сравнению с 3,90 и 4,15;
- значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,47, по сравнению с 3,93 и 4,15, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM92	Харченко Денис Витальевич

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Влияние регенеративных колебаний на точность обработки при фрезеровании	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: процесс возникновения регенеративных колебаний с помощью математического моделирования Область применения: машиностроение, авиастроение, энергетическая промышленность, космическая промышленность
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ; - Федеральный закон «Об основах охраны труда в РФ»; - Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве»; - Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; - Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; - Федеральный закон «О пожарной безопасности». - гигиенические требования по СанПиН 1.2.3685-21; - размещение рабочего места по ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ; - ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. - СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация,

	<p>вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.</p> <p>- СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение</p> <p>- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.</p> <p>- ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.</p> <p>- Федеральным классификационным каталогом отходов (2017)</p> <p>- ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны</p>
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>В производственной среде или при применении вычислительной техники оказывают воздействие следующие вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электромагнитные излучения; – недостаточное освещение; – зрительное напряжение; – микроклимат; <p>Опасные факторы в производственной среде: повышенное значение напряжения в электрической цепи, электрический ток, проходящий через тело человека.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Основными загрязнителями являются макулатура, комплектующие компьютера, утилизация орг. техники, люминесцентных ламп и микросхем оборудования.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможные ЧС: пожары, землетрясения, наводнения, ураганы. Наиболее типичная ЧС: возгорание на рабочем месте.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ92	Харченко Денис Витальевич		

4. Социальная ответственность

Введение

Выпускная квалификационная работа выполнялась с использованием моделирующих программ. Эксперименты магистерской работы осуществлялись с помощью персонального компьютера и различным программным обеспечением. Помещением является аудитория, которая имеет естественное и искусственное освещение, систему кондиционирования воздуха и систему отопления. В аудитории присутствует углекислотный огнетушитель для обезвреживания очага возгорания. Рабочее место оборудовано компьютером и является стационарным.

Объект исследования является процесс возникновения регенеративных колебаний с помощью математического моделирования.

Инженерные разработки должны учитывать требования законодательных и правовых актов, технических регламентов в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Выполнение работ осуществляется с помощью персонального компьютера. Работа регулируется техникой безопасности предприятия и требует соблюдения предписанных норм согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.» имеют место следующие факторы:

- отклонение показателей микроклимата;
- повышенный уровень шума;
- недостаточная освещенность рабочего места;
- электромагнитное излучение;
- поражение электрическим током.

Охрана труда включает в себя правовые, организационно-технические, социально-экономические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические мероприятия.

- ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность;
- ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
- гигиенические требования по СанПиН 1.2.3685-21.

Требования Санитарных правил распространяются на вычислительные электронные цифровые машины персональные и портативные, периферические устройства вычислительных комплексов. В это число входят сканеры, принтеры, клавиатуры, внешние модемы, а также устройства отображения информации — мониторы. Условия и организация работы с ЭВМ направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека вредных факторов производственной среды и трудового процесса при работе.

4.2 Производственная безопасность

Условия труда пользователя, работающего с ПК, определяются особенностями организации рабочего места, условиями производственной среды освещение, микроклимат, шум, электромагнитные и электростатические поля. Перечень вредных и опасных факторов, характерных для производственной среды представлены в виде таблицы.

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

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Вредные факторы				
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 1.2.3685-21 “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. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
4. Уровень электромагнитный полей	–	–	–	СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
Опасные факторы				
1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

4.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Микроклиматические условия

Микроклимат помещений имеет ключевое значение в обеспечении работоспособности и здоровья персонала. Отклонение температуры окружающей среды, скорости движения воздуха и влажности воздуха влияют главным образом на осуществление теплообмена организма с окружающей средой. Поддержание соответствующего баланса является важнейшей задачей, призванной оптимизировать производственный цикл и сохранить здоровье работающих.

Пониженная температура воздуха может вызвать простуду или охлаждение организма. Повышенная температура среды способствует перегреву организма и тепловому удару, что приводит к переутомляемости человека. Повышенная влажность воздуха ($\phi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижение испарения пота. Пониженная влажность ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

Уровень вибраций и шума

Под воздействием шума снижается слуховая чувствительность на высоких частотах. Длительное воздействие шума приводит к заболеванию нервной системы, а сильный шум приводит к снижению слуха, вплоть до глухоты. При работе с ПК возможно снижение работоспособности и появление нервного напряжения.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА. Уровень шума на рабочем месте не превышает 50 дБА.

Если значения выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Освещение на рабочем месте

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. Для обеспечения нормируемых показателей освещенности обеспечен постоянный контроль исправности осветительного оборудования и в случае неисправности его замена. Также проводится чистка стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год.

В производственных помещениях, где установлены ЭВМ следует применять совмещенное освещение. Освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

Параметры помещения:

Длина $A = 6\text{м}$;

Ширина $B = 3,5\text{м}$;

Высота $H = 2,5\text{м}$;

Высота светильника от перекрытия $m = 0,2\text{м}$;

Высота рабочей поверхности над полом $d = 0,8\text{м}$;

Коэффициент отражения потолка $a = 50\%$;

Коэффициент отражения стен $b = 50\%$;

Коэффициент отражения пола $c = 50\%$;

Высота светильника над рабочей поверхностью $h = H-d-m = 1,5\text{м}$;

Найдем площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 6 \times 3,5 = 21\text{м}^2$$

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(A + B) \cdot h} = \frac{21}{(6 + 3,5) \cdot 1,5} = 1,47$$

По индексу помещения и коэффициентам отражения находим коэффициент использования светового потока $\eta = 0,5$.

Количество принятых светильников $N = 4$.

Коэффициент минимальной освещенности $z = 1$.

Нормируемая освещенность составляет $E_H = 400\text{лк}$.

Коэффициент запаса $k_3 = 1,4$.

Найдем световой поток для освещения:

$$\Phi_{л} = \frac{E_H \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{N \cdot \eta \cdot n} = \frac{400 \cdot 21 \cdot 1,4 \cdot 1}{4 \cdot 0,5 \cdot 2} = 2940 \text{ лм}$$

Световой поток от одного светильника равен $2940/4 = 735 \text{ лм}$

Схема расположения ламп на рисунке.

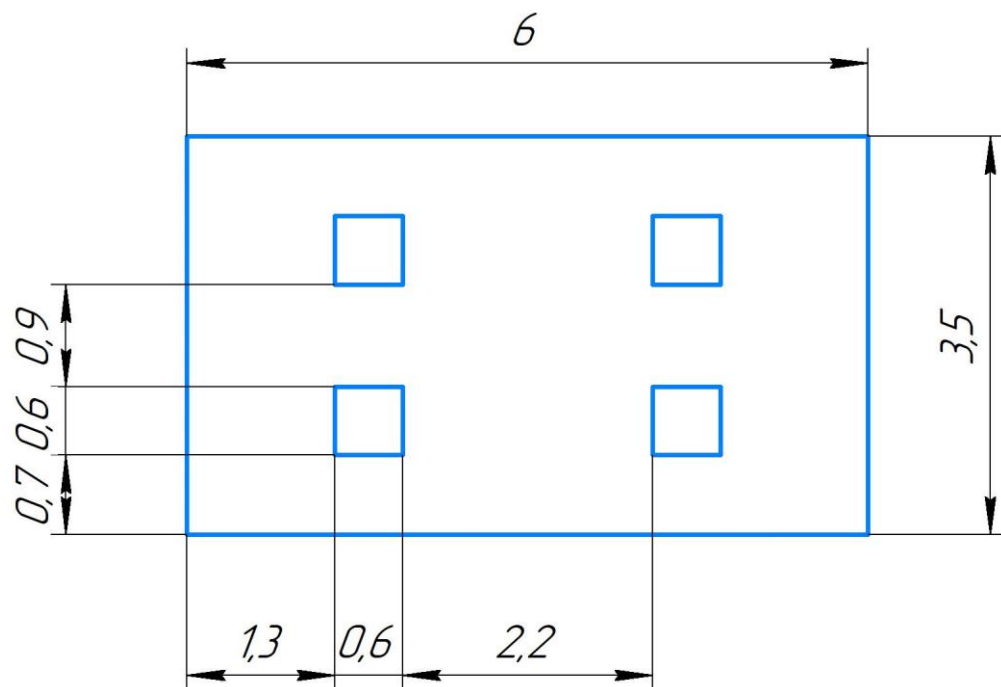


Рис. 4.1 – схема освещения

Повышенный уровень электромагнитных полей

При напряженности электрического поля в диапазоне 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 согласно СанПин 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

Допустимое время пребывания в электромагнитном поле может быть реализовано дробно или однократно в течение рабочего дня. В остальное время необходимо находиться вне зоны влияния ЭП или применять средства защиты.

Полностью избежать воздействия электромагнитных полей невозможно. Можно лишь максимально снизить эти воздействия. Меры снижения интенсивности электромагнитных полей заключаются в рациональном размещении рабочих мест – соседние ПК находятся на расстоянии 1,5 м.

Поражение электрическим током

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает тепловое (ожоги, нагрев сосудов), механическое (разрыв тканей, сосудов при судорожных сокращениях мышц), химическое (электролиз крови), биологическое (раздражение и возбуждение живой ткани) или комбинированное воздействие. Нормы электробезопасности и установленные требования содержатся в стандартах ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ, ГОСТ 12.1.038-82.

Помещение оснащено компьютерной техникой. Основная опасность заключается в неисправности оборудования в ходе эксплуатации и оголенных проводов по причине брака или повреждения. Существуют определенные условия при которых не следует работать с компьютером. Это высокая температура или относительно высокая влажность в помещении, также наличие токопроводящей пыли.

Лаборатория, в которой проходили эксперименты, относится к помещениям без повышенной опасности электропоражения. Используется

аппаратура, потребляющая напряжение 220В при частоте 50Гц. Обязательны меры предосторожности: при обнаружении неисправности приборов, сообщить ответственному за оборудование; перед началом работы нужно убедиться, что розетка закреплена и не имеет оголенных проводов.

4.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.

Микроклиматические условия

Для поддержания требуемого микроклимата используются кондиционеры, обогреватели, система отопления. В помещении следует часто делать влажную уборку и проветривать кабинет несколько раз в день. Проблемы с низкой подвижностью воздуха опасны в теплое время года при повышенной влажности и температуре.

Уровень вибраций и шума

Для снижения уровня шума в постоянных местах пребывания людей в производственных и общественных зданиях используются звукопоглощающие конструкции. Звукопоглощающая облицовка, размещенная на потолке или стенах, хорошо справляется с уменьшением шума. На рабочих местах устанавливают пластиковые окна для улучшения звукоизоляции.

Освещение на рабочем месте

Основной задачей является создание оптимальных световых условий на участках. Мероприятия по нормализации освещения:

- своевременная очистка поверхностей световых проемов;
- своевременная замена источников освещения;
- при производстве высокой точности использовать комбинированного освещения (общего и местного);
- соответствующая покраска стен, потолка;
- рациональная высота подвеса ламп освещения.

Для повышения равномерности естественного освещения больших цехов осуществляется комбинированное освещение. Светлая окраска потолка, стен и оборудования способствует созданию равномерного распределения яркостей в поле зрения.

В лабораториях, в помещениях точной сборки, технологических и конструкторских отделах необходимо предусматривать на окнах солнцезащитные устройства, такие как жалюзи, козырьки, светорассеивающие стеклопластики. Они предотвращают проникновение прямых солнечных лучей, которые создают на рабочих местах резкие тени.

Повышенный уровень электромагнитных полей

Способы защиты от электромагнитного излучения

- сокращение времени, проведенного за ПК;
- размещение рабочих столов с учетом специфики распространения электромагнитного излучения.
- рациональное планирование деятельности персонала;
- использование техники с низкой мощностью источника излучений.

Поражение электрическим током

В целях защиты следует осуществлять необходимые мероприятия:

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

Необходимо проводить профилактические мероприятия, проводить пожарно-технические обследования помещений, противопожарного водоснабжения и систем оповещения о пожарах, проверять состояние пожарной безопасности.

4.5 Экологическая безопасность

Основными отходами деятельности при работе в научно-исследовательской являются офисная бумага, люминесцентные лампы, неисправная офисная техника, канцелярские принадлежности и батарейки.

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.

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. Для утилизации люминесцентных ламп необходимо связаться с специальной фирмой подрядчиком. Данная компания извлечет из них ртуть, а потом уже утилизирует. Загрязнение атмосферного воздуха может возникнуть в случае возникновения пожара в учебном корпусе, в этом случае дым и газ от пожара будут являться антропогенным загрязнением атмосферного воздуха.

4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями на производственном предприятии могут быть пожары. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76. Все производства по пожарной опасности подразделяются на 5 категорий: А, Б, В, Г, Д. Помещение, в котором выполняются эксперименты, относится к категории В. Горючими компонентами в помещении являются: двери, перегородки, полы, электрические схемы ЭВМ, изоляция кабелей и др. Причинами пожара могут быть токи короткого замыкания, электрические перегрузки, статическое электричество.

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 производить организационные и эксплуатационные мероприятия:

- 1) издание инструкций, плакатов, планов эвакуации;
- 2) противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
- 3) обучение персонала правилам техники безопасности;
- 4) обеспечение свободного подхода к оборудованию;
- 5) содержание в исправности изоляции токоведущих проводников;
- 6) соблюдение эксплуатационных норм оборудования.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. На кафедре размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, также размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре. Разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания. Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Для тушения используют огнетушители, ящики с песком, внутренние пожарные краны, план эвакуации, противопожарные щиты с набором инвентаря. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок.



Рис. 4.2 – план эвакуации

4.7 Заключение по разделу

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. Параметры микроклимата соответствуют нормативным документам и создают комфортные условия в экспериментальной лаборатории. Шум на рабочем месте соответствует стандартным нормам. Достаточная освещенность помещения реализуется преимущественно благодаря внедрению искусственного освещения. Экспериментальная часть исследований не вредит окружающей среде и не оказывает вредного воздействия на рабочий персонал.

Раздел ВКР на иностранном языке

5. Influence of regenerative vibrations on machining accuracy during milling

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Михайлова Ольга Владимировна			22.02.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM92	Харченко Денис Витальевич		22.02.21

Review of scientific and technical literature

Regenerative chatter is caused by differences in chip thickness resulting from the phase difference between the vibration pattern formed during a prior cutting process and the vibration displacement of a subsequent cutting process (as shown in Fig. 1, where c and k are the damping and stiffness of the cutting system, respectively; a_e is the radial cutting width; f_t is the feed rate, $F_{t,j}$ and $F_{r,j}$ are the tangential and radial cutting forces, respectively; U_j is the instantaneous angular immersion of tooth j ; V_j and V_{j1} are the dynamic displacements of teeth j and $j1$, respectively). Chatter not only reduces processing efficiency, machining precision, and cutting tool and machine tool lives, but also results in excess waste of materials and sound pollution. The various issues pointed out above have led to the development of a specific body of research around chatter and its resolution.

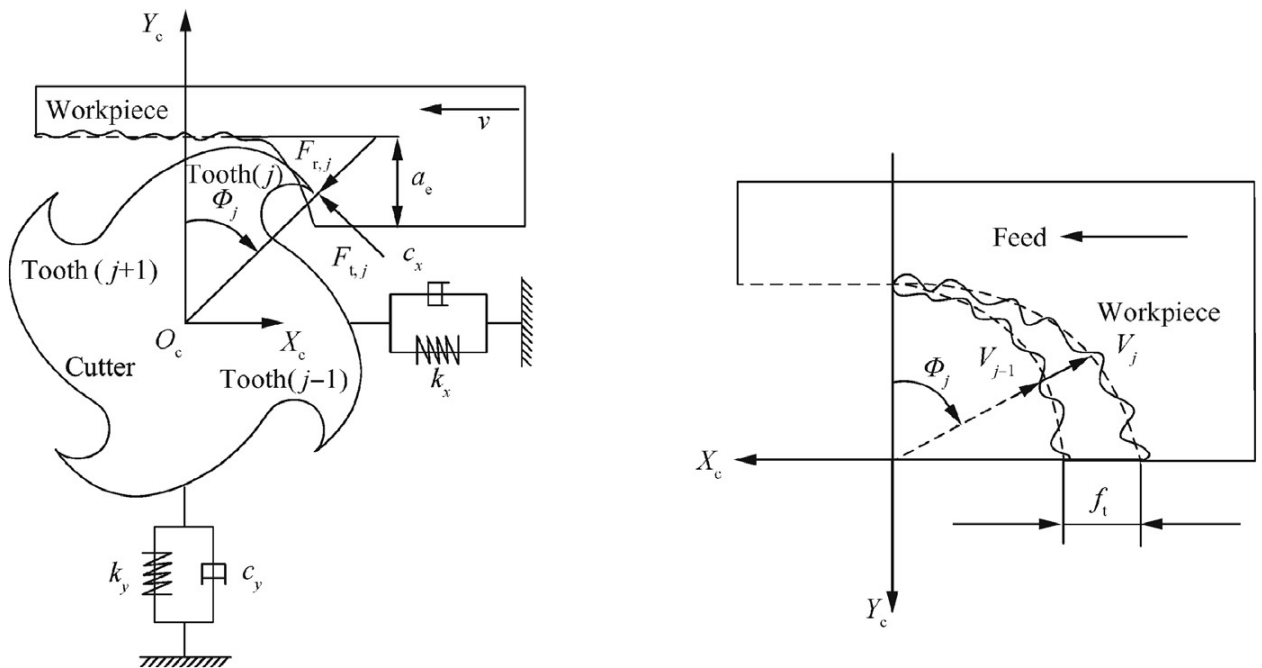


Fig. 5.1. Dynamic model of a milling process

Chatter analysis, chatter stability prediction, and chatter detection are very complex processes. Each requires independent research on different types of cutting, e.g., turning, milling, and drilling. Compared to other machining methods, milling has the advantage of high production efficiency and a wide range of machining processes.

It is particularly suitable for machining of complex composite parts, most notably those with various special-shaped surfaces, thus offering a number of advantages over other machining methods. As a result, milling plays an important role in the mechanical manufacturing industry

Chatter control/suppression technology

The control/suppression of chatter is a challenging problem in milling processes. In the last few decades, machining technology has made great progress. As other things improve, including better efficiency, higher accuracy, lower rejection rates, and lower production costs, there is a greater pressure to develop more effective chatter control/suppression technology as well. Broadly speaking, chatter control/suppression techniques can be divided into passive and active controls.

Passive control technology.

Passive control technology aims to improve the stability of machining processes by improving machine design or using equipment that can absorb extra energy or get rid of the regeneration effect, thereby changing or modifying a system's behaviors (see Fig. 2, where r and s are the dynamic displacements of these absorbers, and k and c are the damping and stiffness of the cutting system, respectively). Passive control techniques usually use dampers or special tools to suppress chatter (see Fig. 3, where M , k_1 , and c_1 are the mass, damping, stiffness of the original system, respectively; m , k_2 , and c_2 are the mass, damping, stiffness of the damper, respectively; $x=x_0$ is the ratio of the dynamic displacement to the static displacement).

Ziegert et al. explored the possibility of placing a mechanical damper directly into a rotating tool. A cylindrical shock absorber was inserted into a matched shaft hole along the center line of a milling cutter. As the tool rotated during milling, the centrifugal force between the multi-fingered shock absorber and the tool body created pressure, which caused energy dissipation through friction when there were bending vibrations. In the best case, this damper could increase the processing efficiency by up to 53%. Moradi et al. created a two-degree-of-freedom system for milling processes, and designed an optimal adjustable damper in the X and Y directions to suppress

regenerative chatter during flank milling. The optimal parameters of the shock absorber were obtained by a Matlab optimization algorithm. The study concluded that adjustable shock absorbers could improve the stability of the process effectively and have good robustness in dynamic models with uncertain parameters.

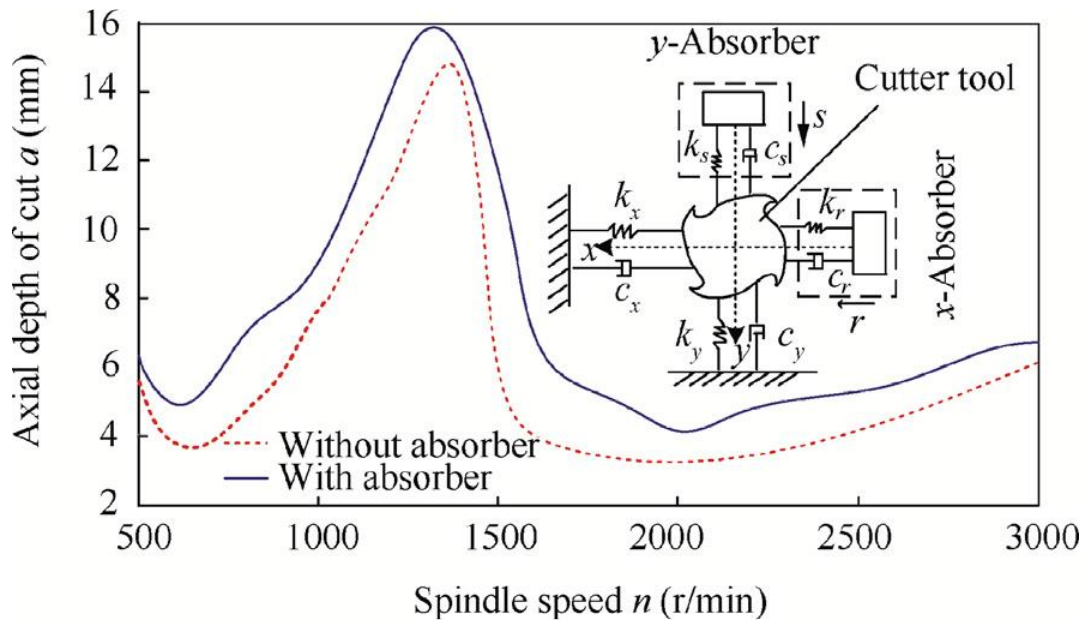


Fig. 5.2 Impact of a passive damper on stability.

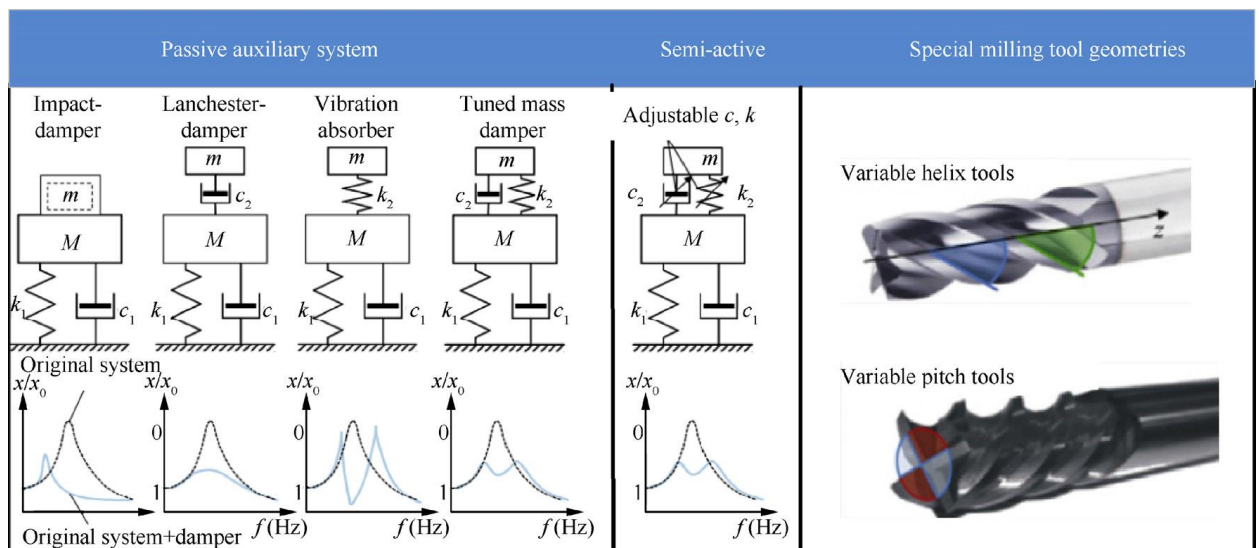


Fig.5.3 Passive control technology

Adjustable shock absorbers can also reduce chatter caused by the effect of workpieces bending during milling processes. Tunable mass dampers (TMDs) are

commonly used in passive systems. Burtscher et al. presented an adaptive tuning mass damper (ATMD) with a variable mass, and gave the design program of the ATMD. The real amplitude of the frequency response function of the spindle system was increased by nearly 52% with the ATMD optimized by a genetic algorithm. The experiment showed that the difference between the dominant frequency of the spindle system with or without ATMD was nearly 17%, which proved the effectiveness of the AMTD in reducing cutting vibration.

Sellmeier and Denkena and Altintas et al. have also shown that variable-pitch milling cutters can improve the ultimate axial cutting depth for high spindle speeds. However, this has little effect at lower speeds. The key to obtaining the maximum stability is to find the optimal pitch between cutter teeth within a specific spindle speed range. This has led to many researchers attempting to quickly design variable-pitch milling cutters for different conditions by using the simplest methods possible.

Zatarain et al. modeled a milling process with a variable spindle speed in the frequency domain. Results showed that a variable spindle speed could effectively suppress cutting chatter at low spindle speeds, and a sinusoidal speed variation is more effective than a triangular speed variation in restraining cutting chatter. The model was validated by a semi discrete method and timedomain simulation, and its correctness was verified by experiments. Seguy et al. studied the effect of a variable spindle speed on regenerative vibration of a machine tool in a highspeed milling process, and obtained an SLD under triangulation by a semi-discretization method. It was shown that periodic doubling chatter could effectively be suppressed by a spindle speed variation, although the technique was not effective for quasiperiodic chatter above the Hopf lobe.

Jin et al. established a milling dynamics equation that considered the effects of variations of the cutter pitch angle and spindle speed, and linear stability analyses were carried out via an updated semi-discretization method. Results showed that the combined milling process exhibited a great capability to avoid the onset of milling chatter.

Active control technology

Active control technology for chatter suppression determines the dynamic behaviors of machine tools by detecting their states, and then adjusts their working statuses by active execution of a decision. Active vibration damping systems are usually composed of monitoring, diagnosis, and execution elements. This kind of control technology is becoming more and more important because of progresses in the fields of computing, sensing, and actuation. Active control technology can bring about notable improvements in the stability of processes.

Munoa et al. used external acceleration sensors to provide feedback to a control loop, and then used a machine's own drive to suppress the occurrence of chatter in a milling process. The variable meaning in Fig. 4 was described in reference. This led to improvements in the overall stability of heavy milling, which was verified experimentally. Van Dijk et al. developed a methodology based on a robust control approach using l-synthesis to proactively control chatter in a milling process.

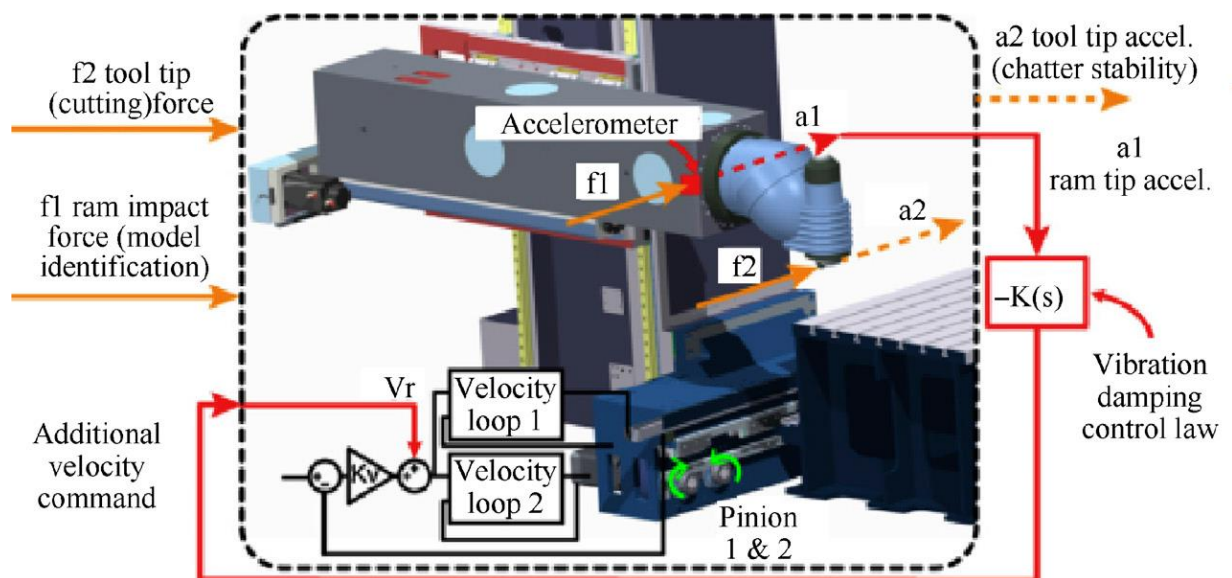


Fig. 5.4 Active chatter suppression using machine drives

Wang et al. also integrated a piezoelectric actuator into a spindle, which made the stiffness of the cutting system time-varying and ultimately inhibited milling chatter. Dohner et al. used an approach where an electrostrictive actuator was placed on the spindle tip. Depending on the process vibration signal detected by a strain gauge placed

at the tool's root, the output voltage can be controlled by a controller, so as to change the output force of the actuator, thus suppressing any occurrence of chatter. Experimental results have shown that active control systems can generally increase the metal removal rate by an order of magnitude.

Conclusion

Chatter control/suppression can be divided into active and passive controls. Passive control usually uses a tuned mass block, an impact damper, a variable pitch, or a variable helix angle to bring about chatter control. Overall optimization of the tool geometry at the design stage (e.g., a saw-tooth cutting edge and variable pitch) can significantly improve process stability. In tool optimization, however, there are no clear and accurate design guidelines for maximizing process stability, although there are methods available that are based on energy criteria and minimization of regeneration effects. The influence of special cutter geometries on damping needs further study. Dynamic stiffness modeling of different joint parts presents the biggest challenge for dynamic behavior prediction at the tool design stage. Tuned mass dampers require a large space in the critical position, and the adjustment of the dynamic characteristics is limited, while a friction damper is smaller than a tuned mass damper, which can solve the space limitation problem of the tuned mass damper, but the method lacks a design criterion. Because damping of thin-walled parts is very small, the application of passive control technology to suppress process chatter is still a challenge. Active control usually involves the collection of sensor processing information and the use of mathematical algorithms to make decisions. These are then used to drive actuator performance, thus bringing about a change in the processing state. However, for any given application, it is still difficult to accurately change the behavior of an actuator. Only a few studies have considered a cutting process model and an actuator model together to analyze the force, the active force, and the best position for measurement. Almost all existing models are noncommercial, and there is an urgent need to determine the best design strategy for creating a reliable active system that is open to real-world implementation. Other active methods, including model predictive control, robust

control, adaptive control, etc., require complex control algorithms or expensive equipment, which cannot be widely used in an actual production process.

Список литературы

1. Воронов С.А., Киселев И.А. Комплексная математическая модель динамики пространственного фрезерования податливых сложнопрофильных деталей // В сборнике: Проблемы механики современных машин. Материалы V международной конференции. 2012. С. 89-92.
2. Воронов С.А., Непочатов А.В., Киселев И.А. Критерии оценки устойчивости процесса фрезерования нежестких деталей // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. С. 50-62.
3. Свинин В.М., Самородов П.А. Исследование динамической устойчивости нежесткой технологической системы при торцовом фрезеровании с переменным шагом зубьев инструмента // Механики XXI века. 2016. № 15. С. 167-173.
4. Абдурахманов А.У., Джемилов. Анализ причин возникновения автоколебаний при механической обработке резанием // Таврический научный обозреватель. 2016. № 5-1(10). С. 252-257.
5. 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.
6. 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.
7. J.C. Ziegert, C. Stanislaus, T.L. Schmitz, R. Sterling. Enhanced damping in long slender end mills. *Manuf Process*, 8(1) (2006), 39-46
8. H. Moradi, M.R. Movahhedy, G. Vossoughi. Tunable vibration absorber for improving milling stability with tool wear and process damping effects. *Mech Mach Theory*, 52 (2012), 59-77.
9. J. Burtscher, J. Fleischer. Adaptive tuned mass damper with variable mass for chatter avoidance. *CIPR Ann-Manuf Technol*, 66(1), (2017), 397-400

10. V. Sellmeier, B. Denkena. Stable islands in the stability chart of milling processes due to unequal tooth pitch, *Int J Mach Tool Manuf*, 51 (2) (2011), 152-164.
11. M. Zatarain, J. Alvarez, I. Bediaga, J. Munoa, Z. Dombovari. Implicit subspace iteration as an efficient method to compute milling stability lobe diagrams, *Int J Adv Manuf Technol*, 77 (1–4) (2015), 597-607
12. G. Jin, H. Qi, Z. Li, J. Han, Dynamic modeling and stability analysis for the combined milling system with variable pitch cutter and spindle speed variation, *Commun Nonlinear Sci*, 63(2018), 38-56
13. J. Munoa, X. Beudaert, K. Erkorkmaz, A. Lglesias, A. Barrios. Active suppression of structural chatter vibrations using machine drives and accelerometers. *CIRP Ann- Manuf Technol*, 64 (1) (2015), 385-388
14. N.J.M.V. Dijk, N.V.D. Wouw, E.J.J. Doppenberg, A.J. Han, H. Nijmeijer. Robust active chatter control in the high-speed milling process. *IEEE Trans Contr Syst Technol*, 20 (4) (2012), 901-917
15. C. Wang, X. Zhang, Y. Liu, H. Cao, X. Chen. Stiffness variation method for milling chatter suppression via piezoelectric stack actuators. *Int J Mach Tool Manuf*, 124 (2017), 53-56
16. J.L. Dohner, J.P. Lauffer, T.D. Hinnerichs, N. Shankar, M. Regelbrugge. Mitigation of chatter instabilities in milling by active structural control. *J Sound Vib*, 269 (1) (2004), 197-211
17. Caixu YUE, haining GAO, XiAnli LIU, Steven Y. LIANG, Lihui WANG. A review of chatter vibration research in milling/ *Chinese Journal of Aeronautics* (2019).
18. Giovanni Totis, Tamas Insperger, Gabor Stepan, Marco Sortino. Stability analysis in milling by taking into account the influence of forced vibrations on the actual tool-workpiece engagement conditions/ *Procedia CIPR*/ 2018, 453-456.
19. Andrzej Weremczuk, Rafal Rusinek, Jerzy Warminski, The Concept of Active Elimination of Vibrations in Milling Process, *Procedia CIPR*/ 2015, 82-87.
20. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

21. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
22. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
23. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
24. ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы производственные. Общие требования безопасности
25. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности
26. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений/
27. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
28. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
29. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.
30. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями).
31. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
32. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - № 1 (ч. 1). - Ст. 3.

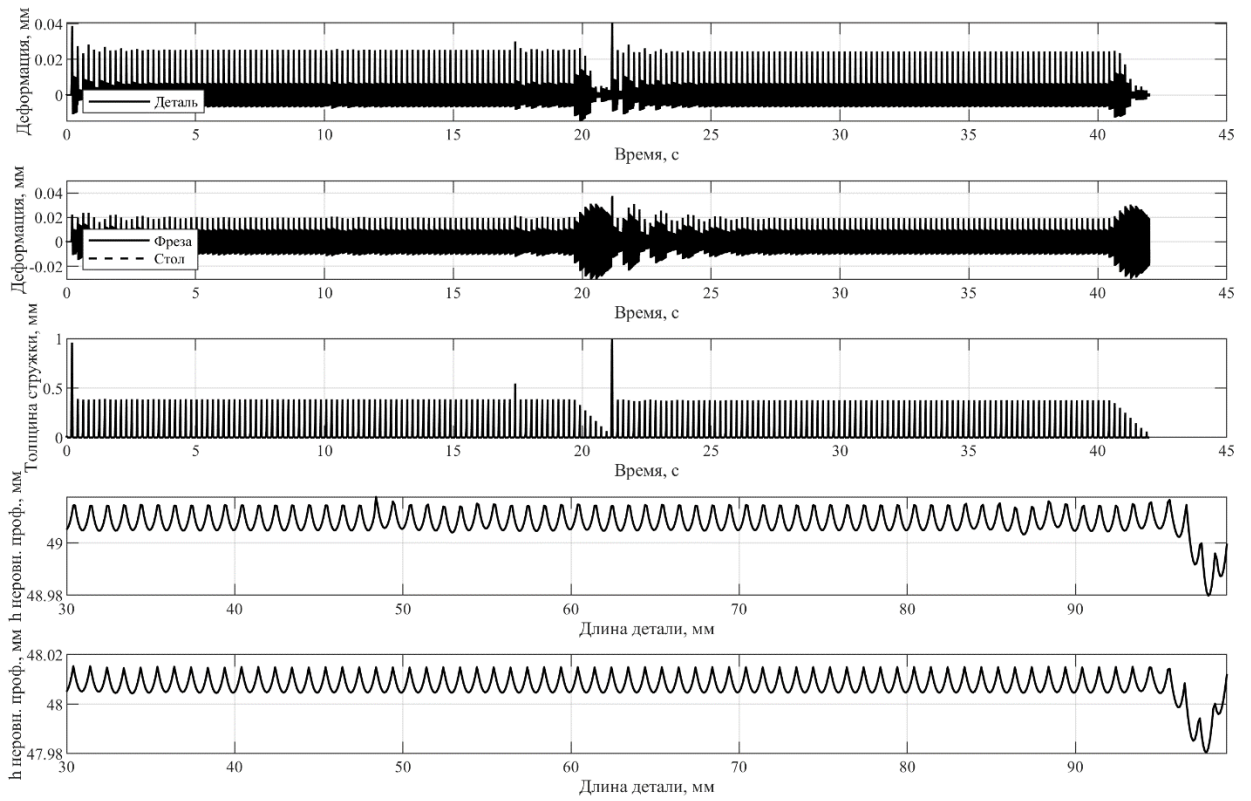
Приложение А

```
clear;
path = ('C:\Resolver for experiments\');
read_name_file1 = 'output_graph_data.txt';
read_name_file2 = 'output_surface_data.txt';
plot_name = ('Figure');
A = load ([path read_name_file1]);
B = load ([path read_name_file2]);
x = A(:, 1);
y1 = A(:, 2);
y2 = A(:, 3);
y3 = A(:, 4);
y4 = A(:, 5);
y5 = A(:, 6);
y6 = A(:, 7);
y7 = A(:, 8);
y8 = A(:, 9);
y9 = A(:, 18);
y10 = A(:, 19);
y11 = A(:, 20);
y12 = A(:, 21);
y13 = A(:, 22);
x_ = B(:, 1);
y_1 = B(:, 2);
y_2 = B(:, 3);
set(0, 'DefaultAxesFontSize', 10, 'DefaultAxesFontName', 'Times New Roman');
fig = figure('Units', 'normalized', 'OuterPosition', [0.125 0.1 0.65
0.8]);
fig.PaperPositionMode = 'auto';
ax1 = subplot(5,1,1);
plot(x, y2.*1000, 'k-', 'LineWidth', 1);
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
ylabel('Деформация, мм');
xlabel('Время, с');
legend('Деталь', 'Location', 'southwest');
grid on;
ax2 = subplot(5,1,2);
plot(x, y1.*1000, 'k-', x, y4.*1000, 'k--', 'LineWidth', 1);
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
ylabel('Деформация, мм');
xlabel('Время, с');
legend('Фреза', 'Стол', 'Location', 'southwest');
grid on;
ax3 = subplot(5,1,3);
plot(x, y11*1000, 'k-', 'LineWidth', 1);
ylabel('Толщина стружки, мм');
xlabel('Время, с');
grid on;
xlabel(ax3, 'Сила, F');
ax4 = subplot(5,1,4);
plot(x_, 34.0768+(y_1*1000), 'k-', 'LineWidth', 1);
xlim([30 99]);
ylabel('h неровн. проф., мм');
xlabel('Длина детали, мм');
grid on;
xlabel(ax3, 'Время, с');
```

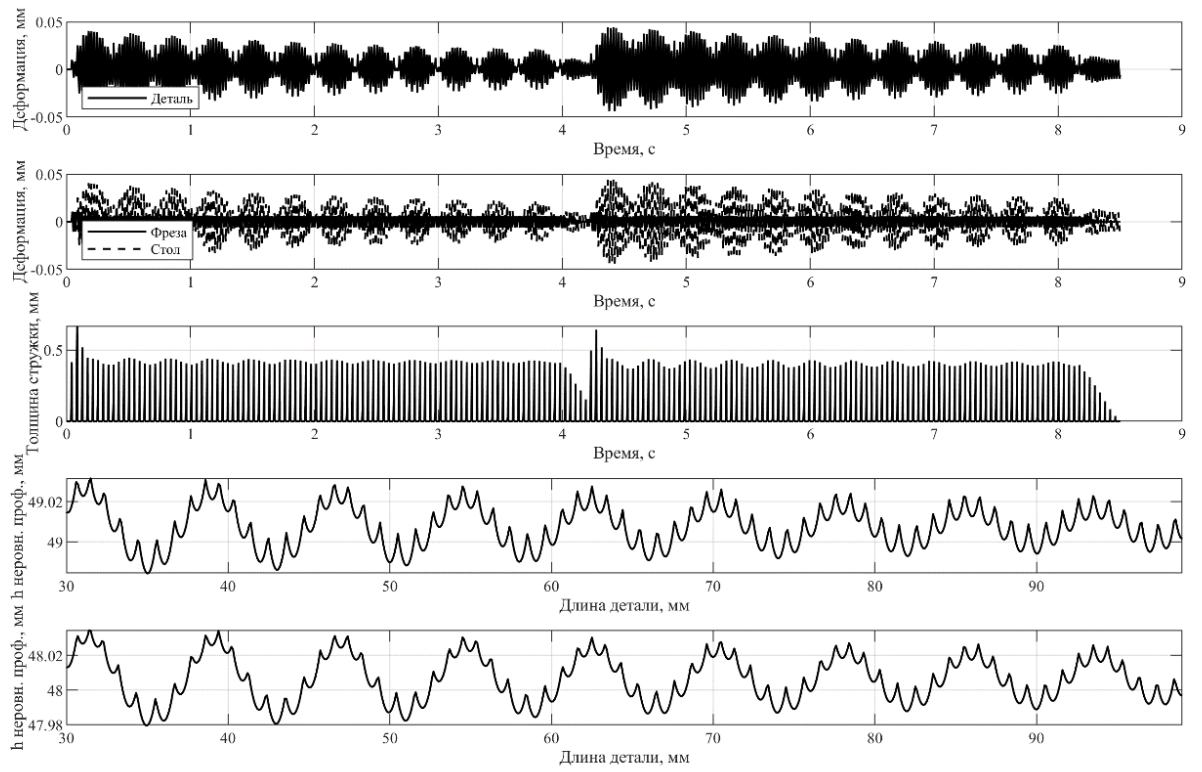
```
ax4 = subplot(5,1,5);
plot(x_, 34.0768+(y_2*1000), 'k-', 'LineWidth', 1);
xlim([30 99]);
ylabel('h неровн. проф., мм');
xlabel('Длина детали, мм');
grid on;
xlabel(ax3, 'Время, с');
%% T(i) = max_deviation;
print(fig, ['C:\Resolver for experiments\' plot_name'], '-dpng', '-r300')
savefig(fig, ['C:\Resolver for experiments\' plot_name']);
```

Приложение Б

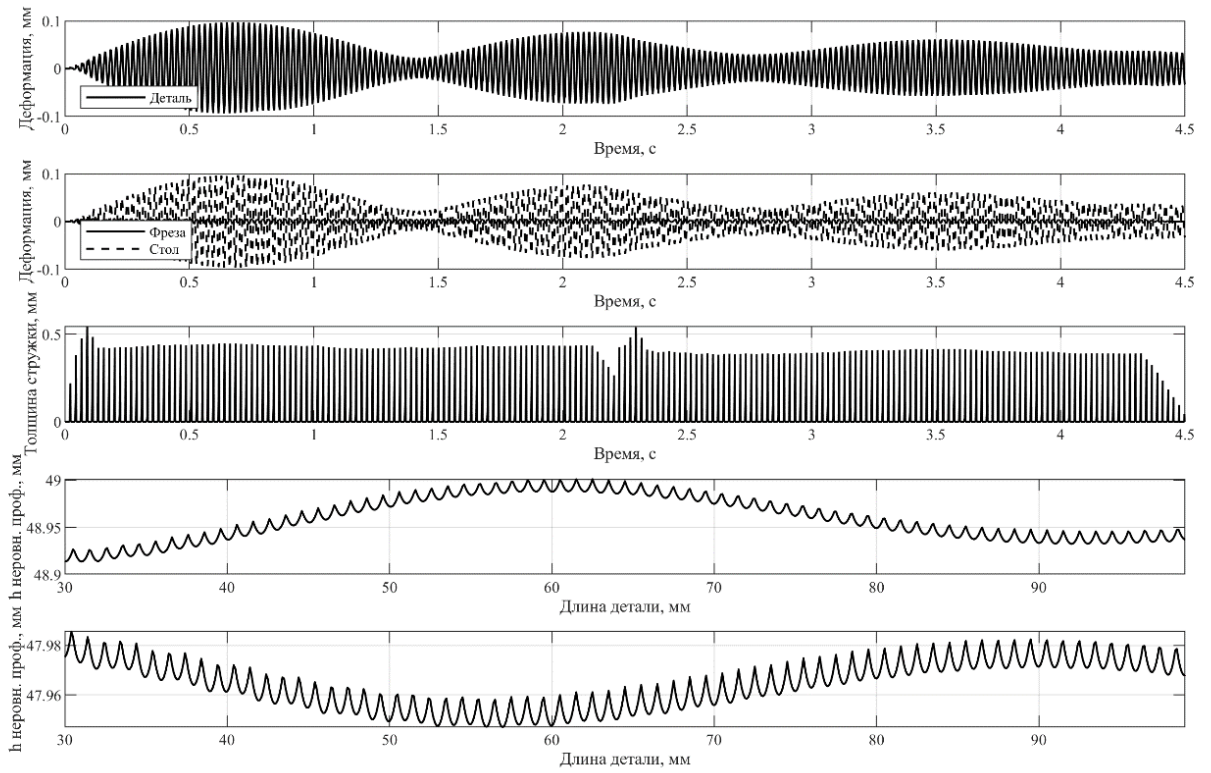
Скорость резания 9 м/мин



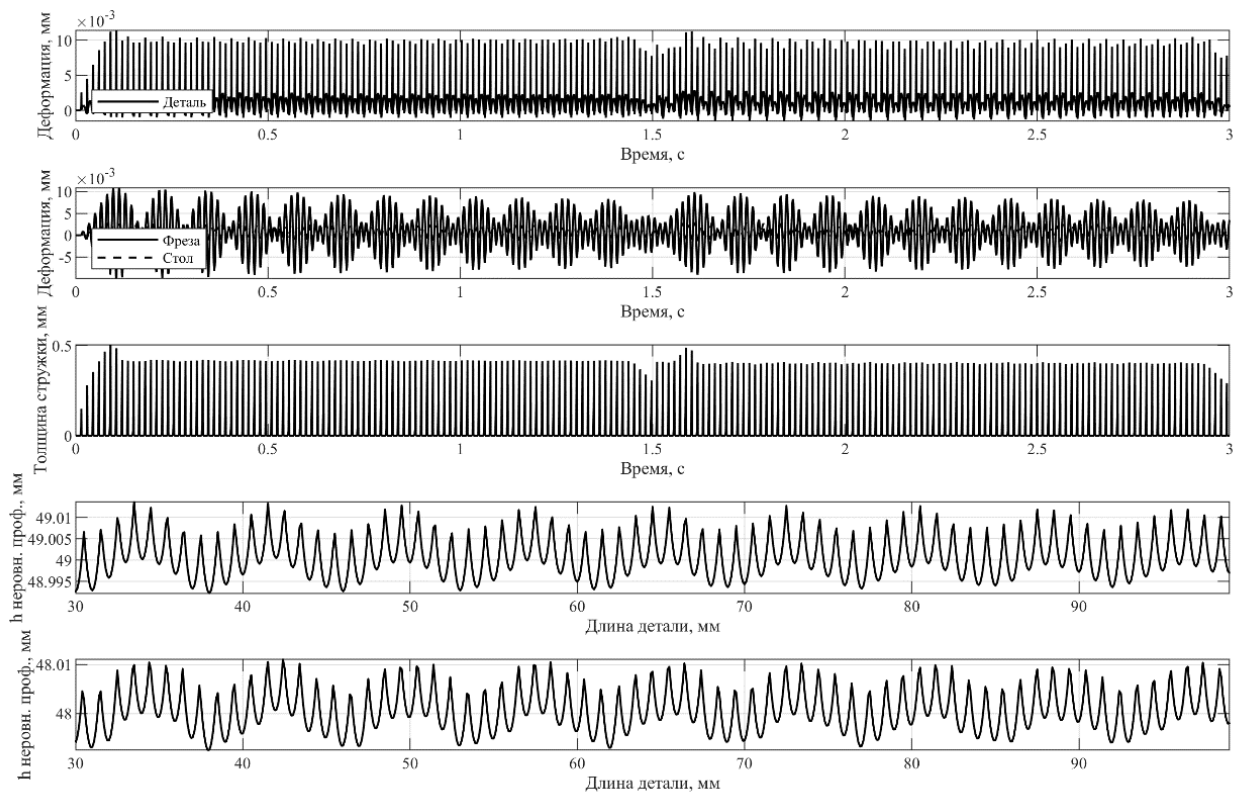
Скорость резания 45 м/мин



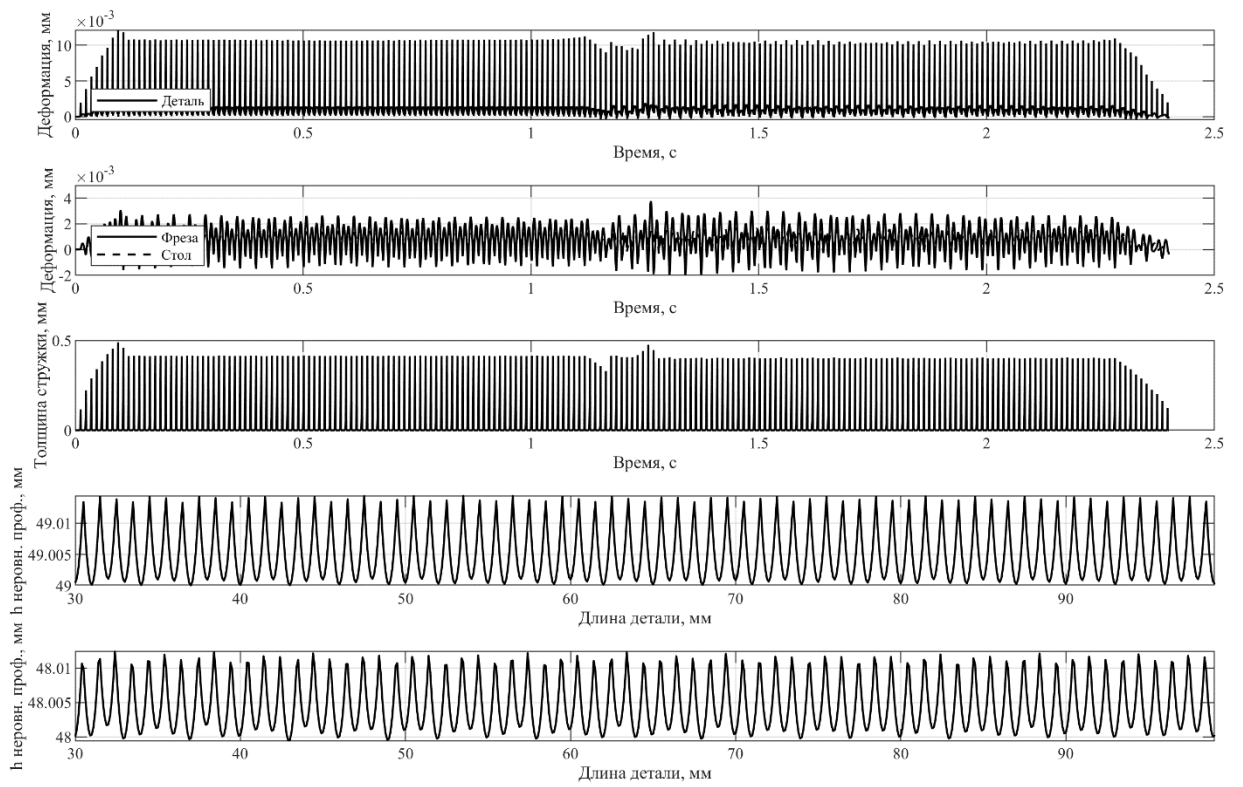
Скорость резания 85,5 м/мин



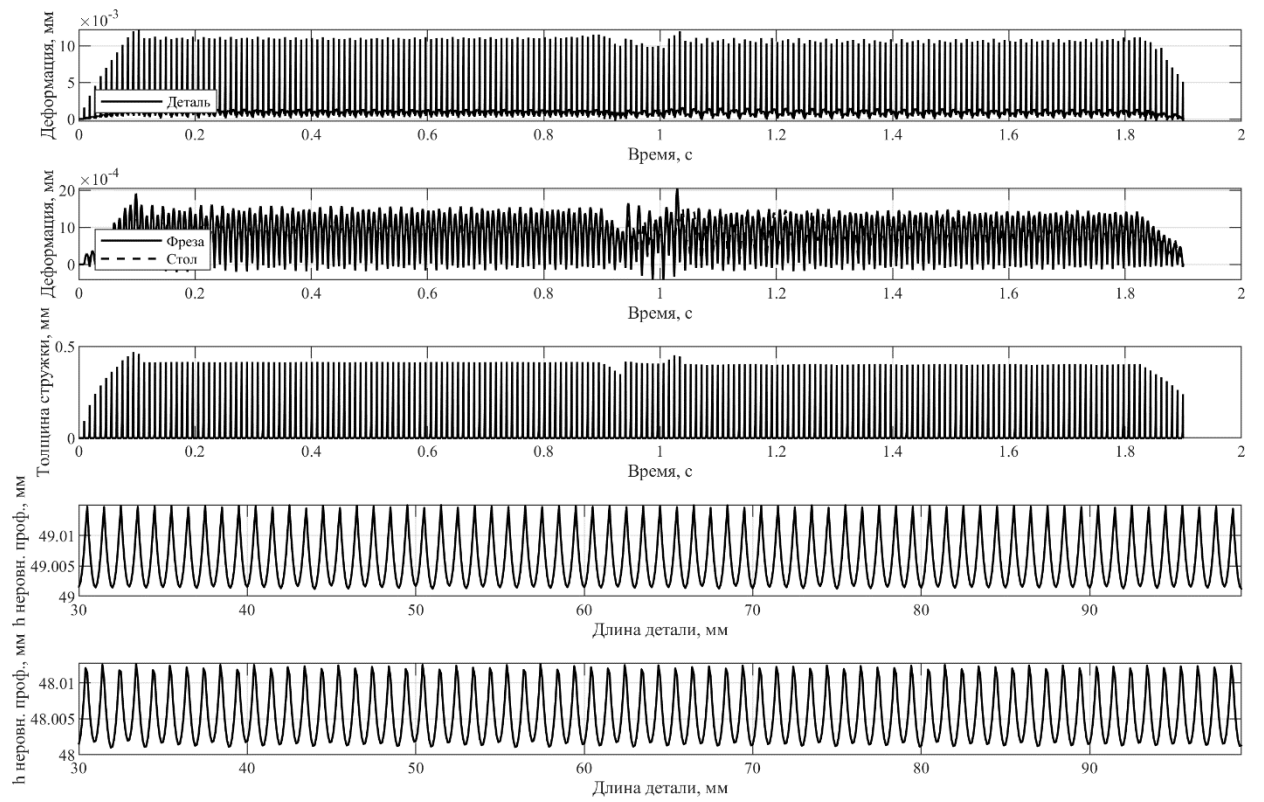
Скорость резания 127 м/мин



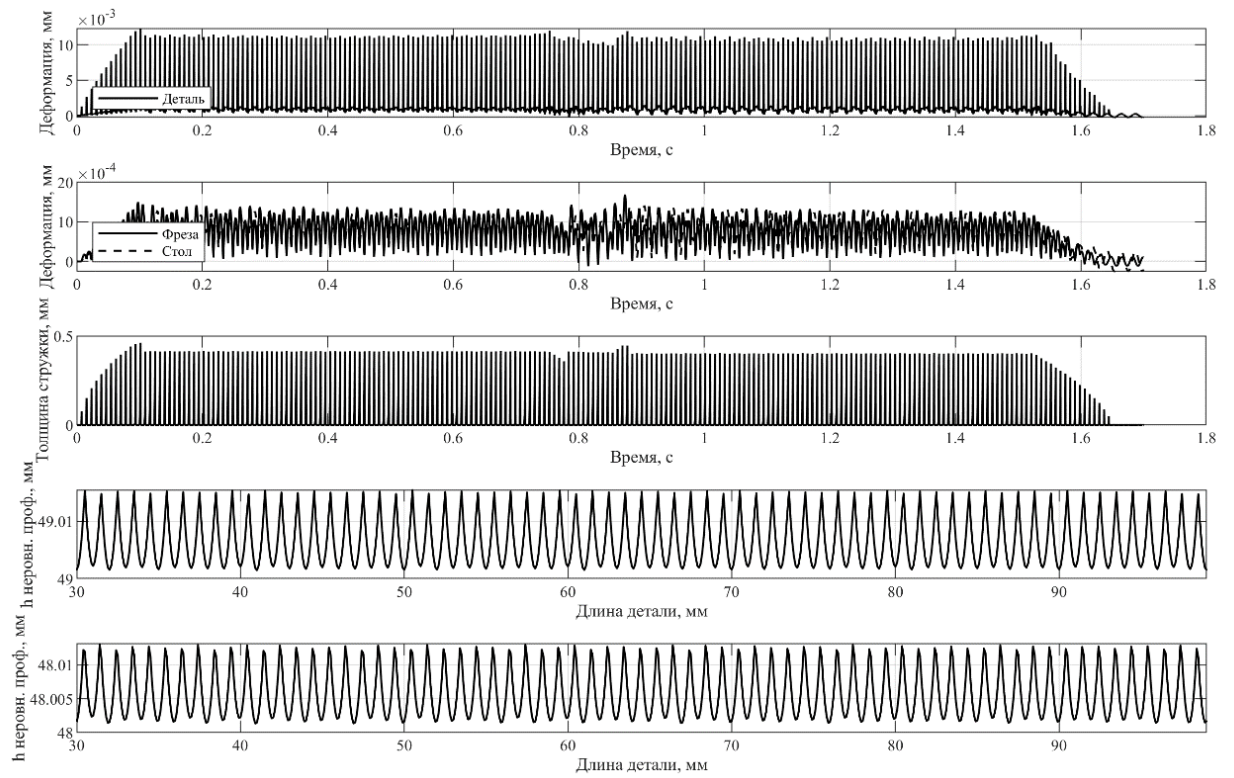
Скорость резания 162 м/мин



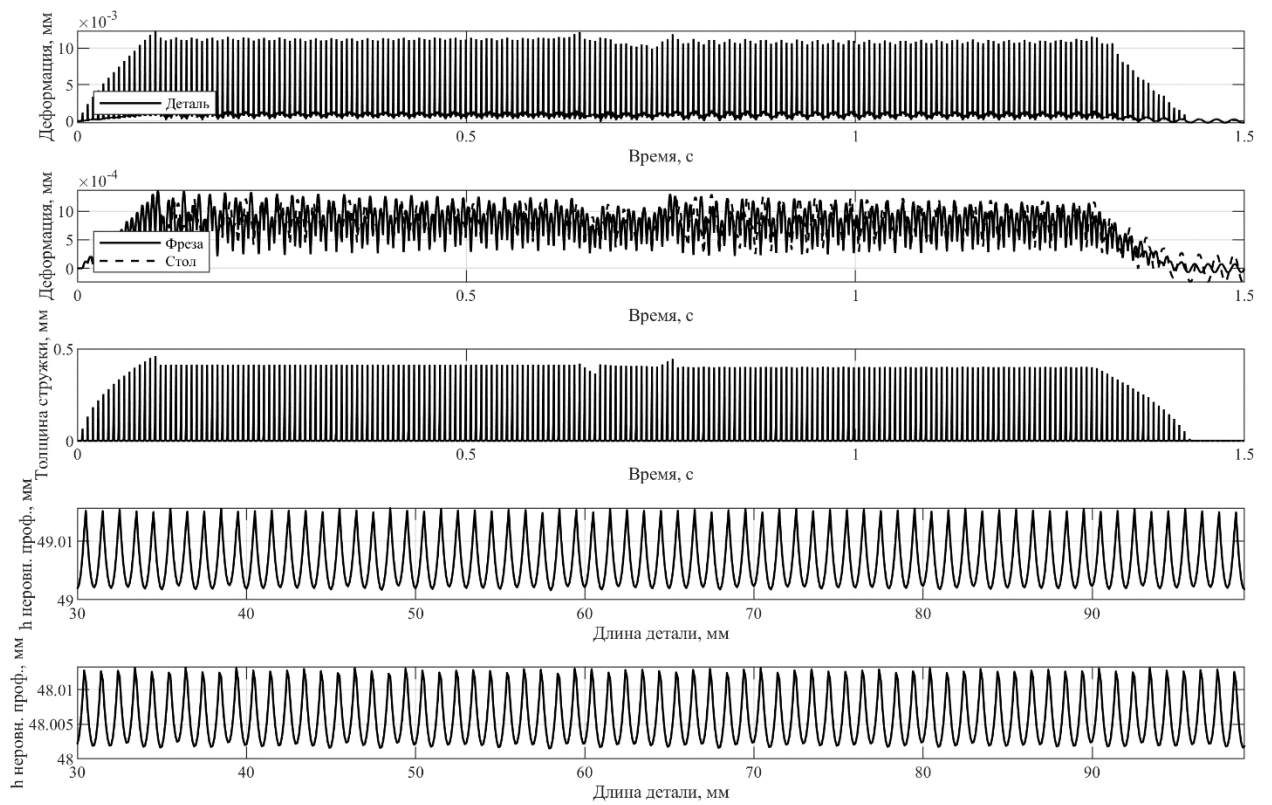
Скорость резания 202 м/мин



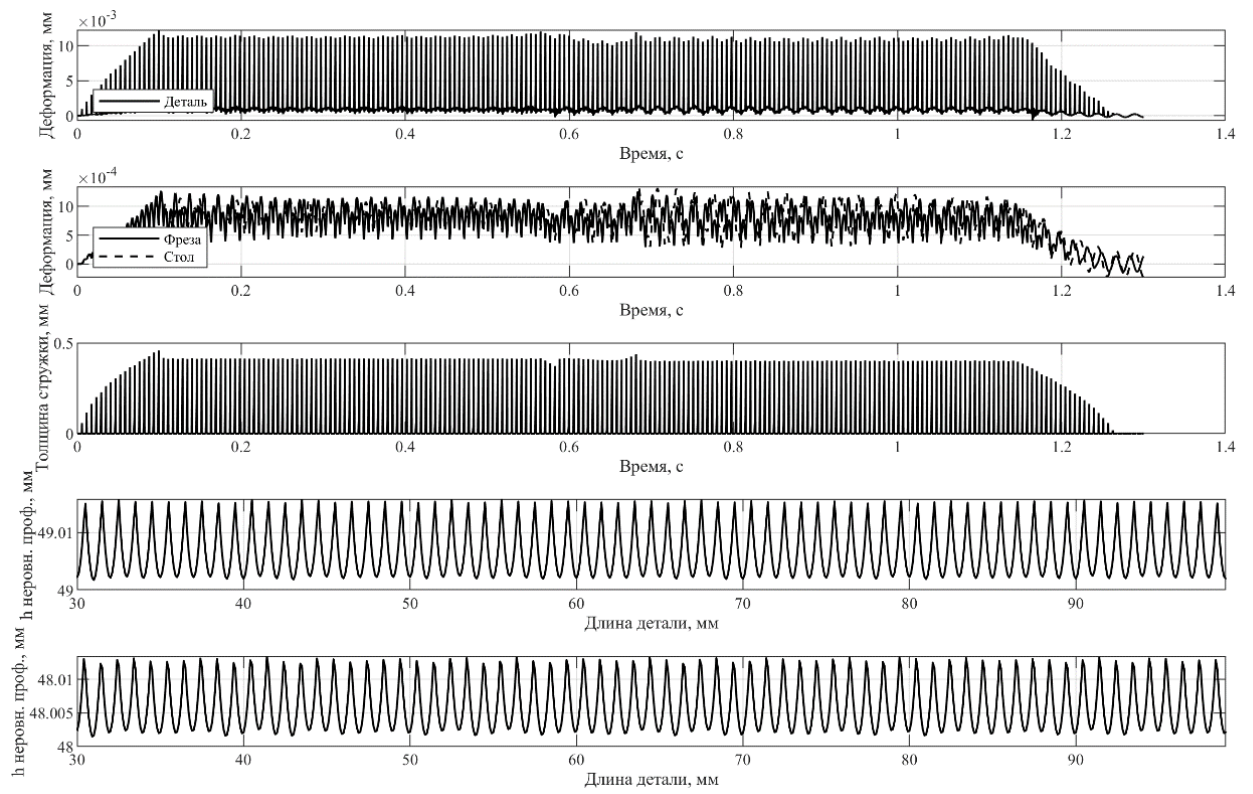
Скорость резания 243 м/мин



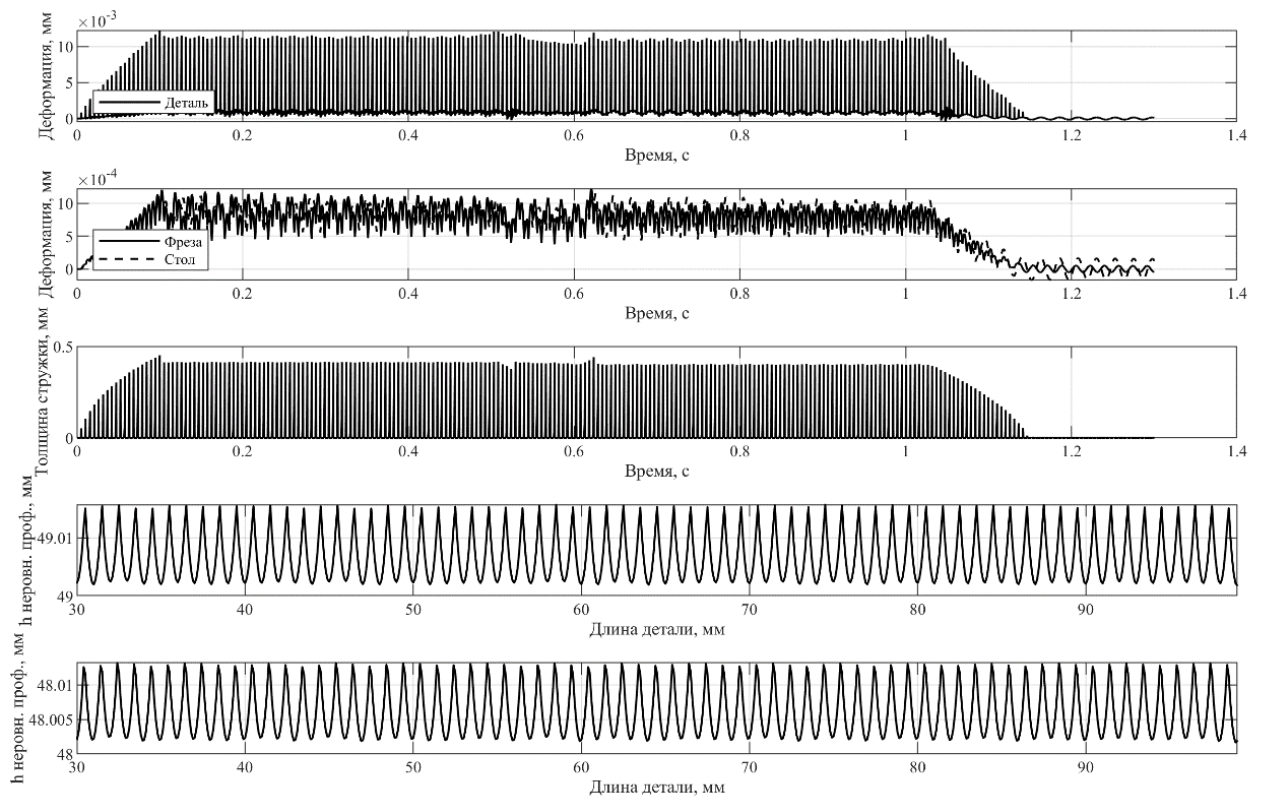
Скорость резания 285 м/мин



Скорость резания 324 м/мин

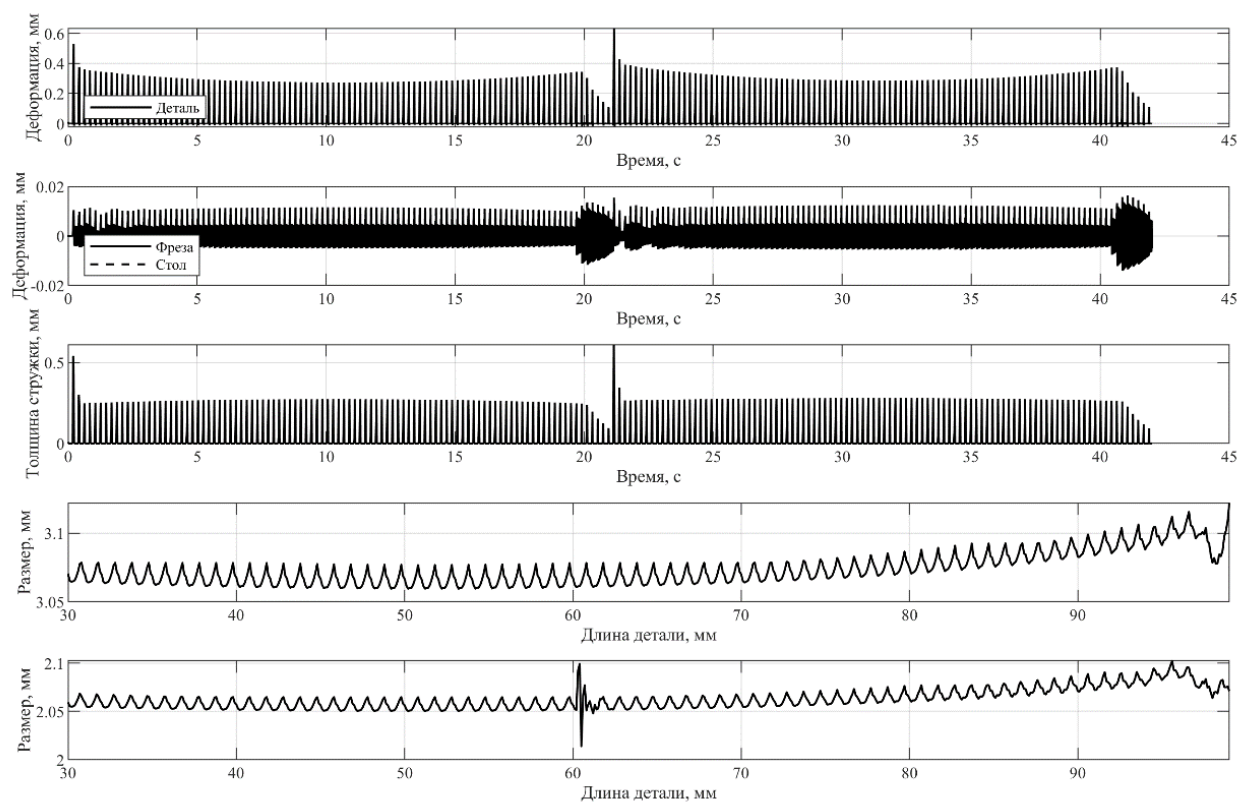


Скорость резания 360 м/мин

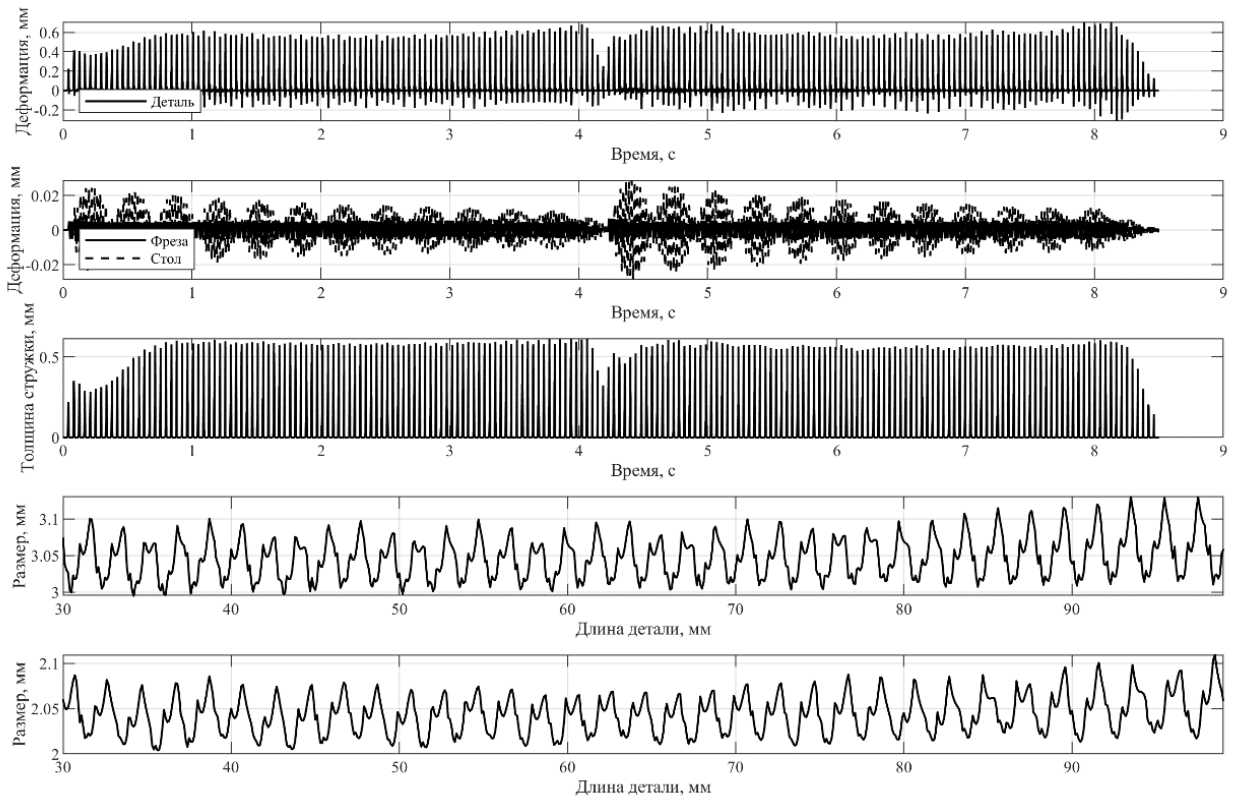


Приложение В

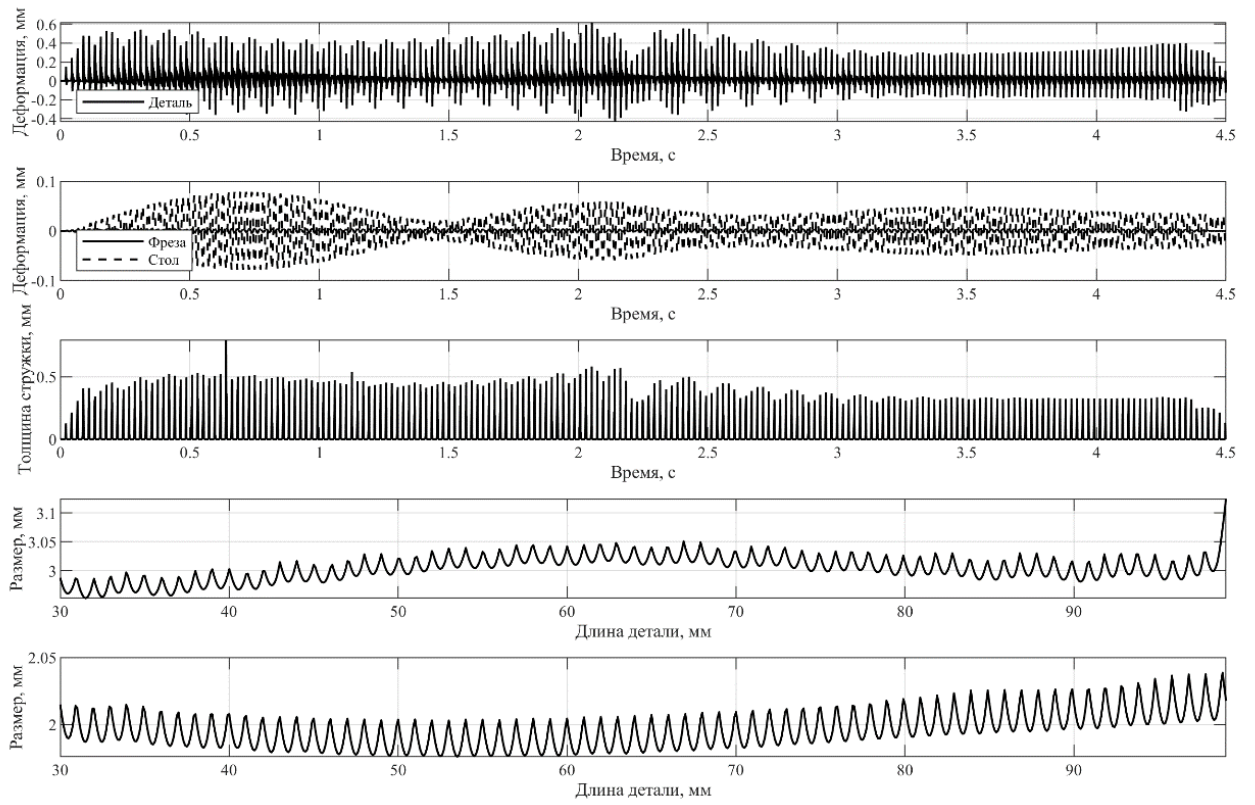
Скорость резания 9 м/мин



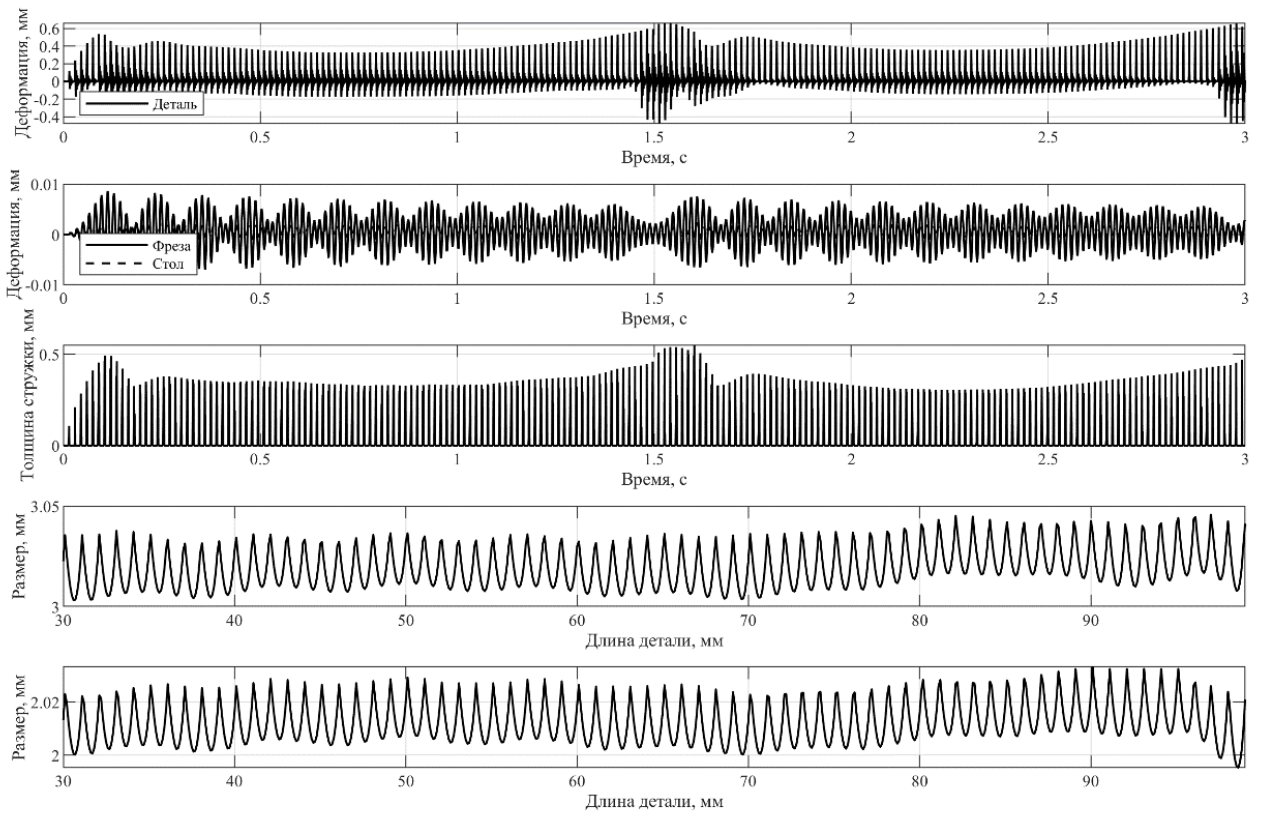
Скорость резания 45 м/мин



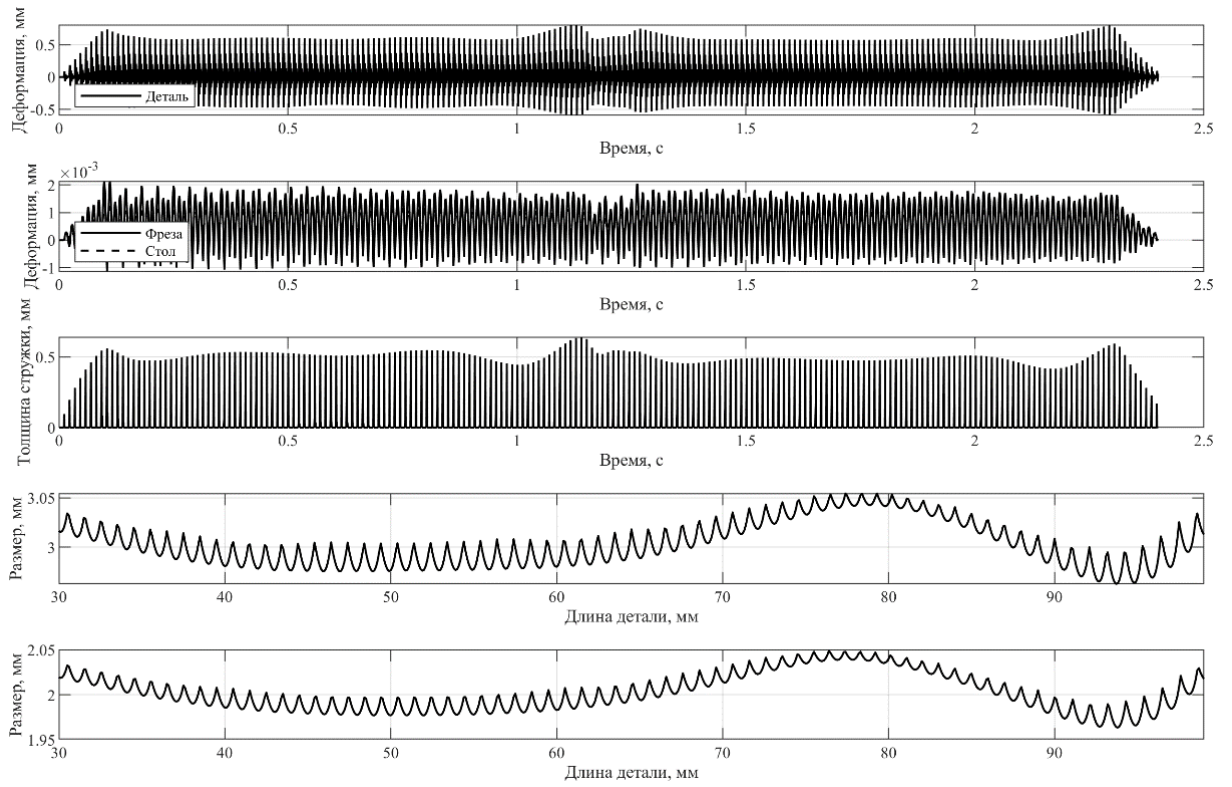
Скорость резания 85,5 м/мин



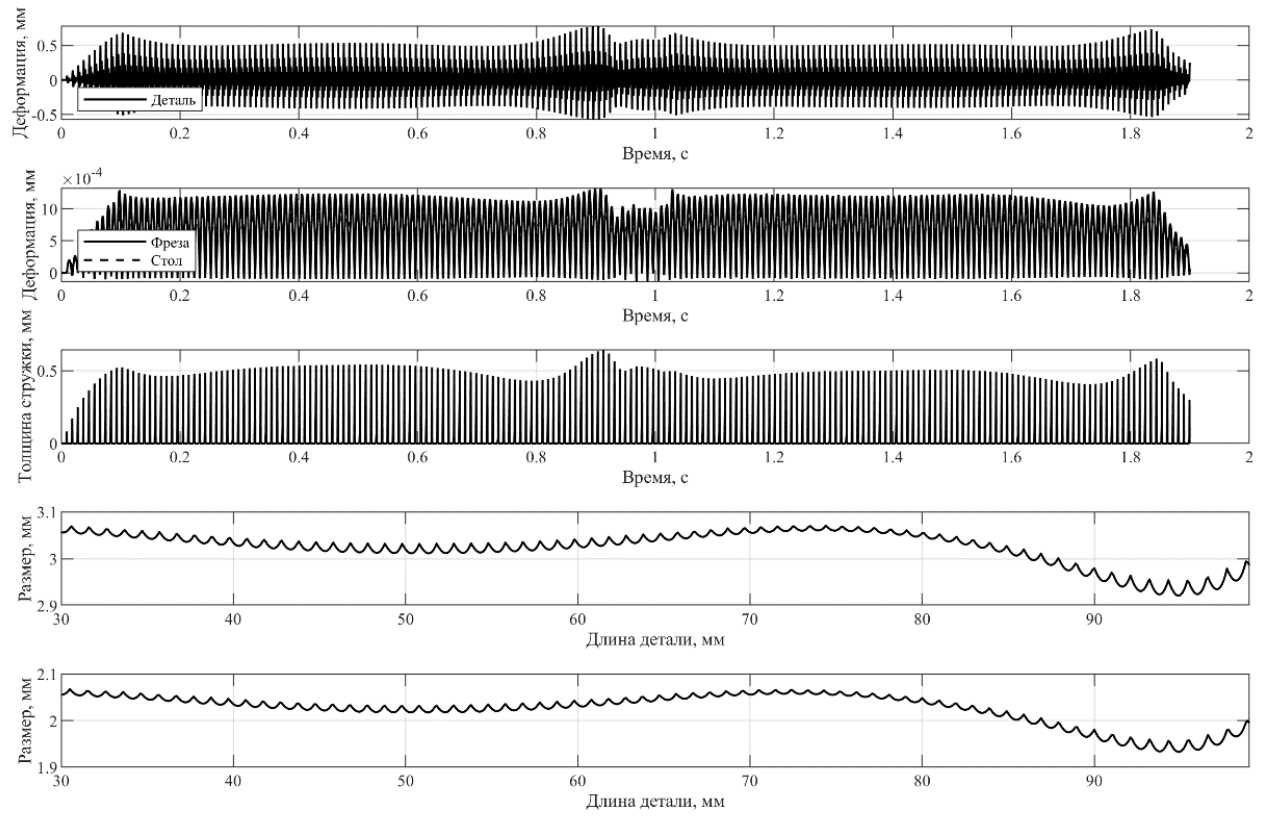
Скорость резания 127 м/мин



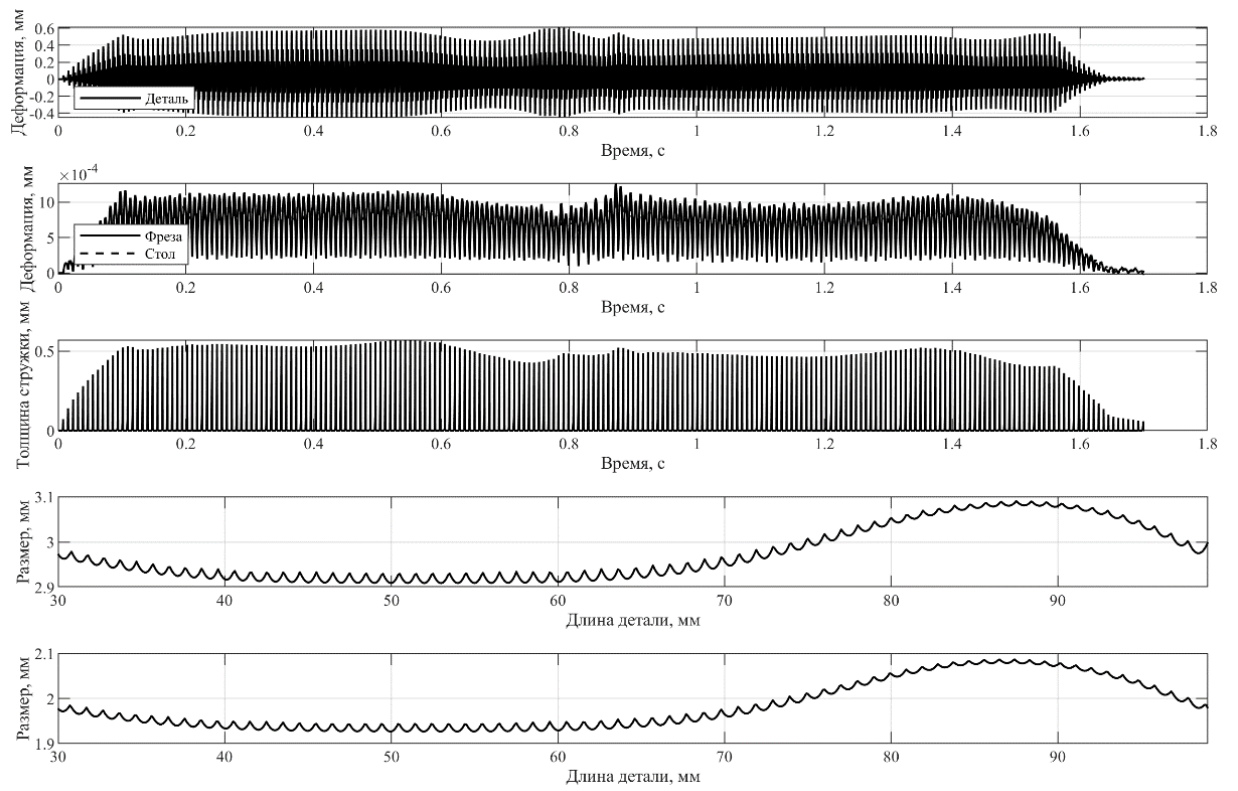
Скорость резания 162 м/мин



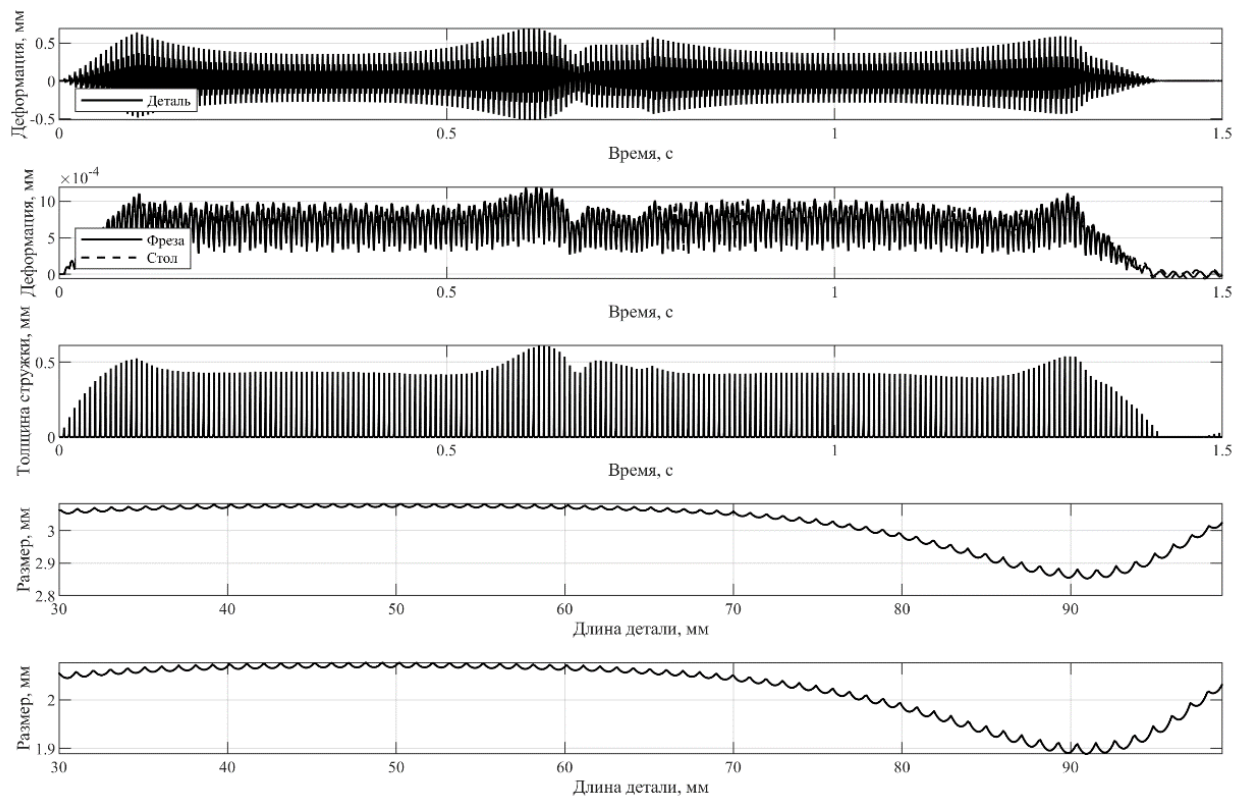
Скорость резания 202 м/мин



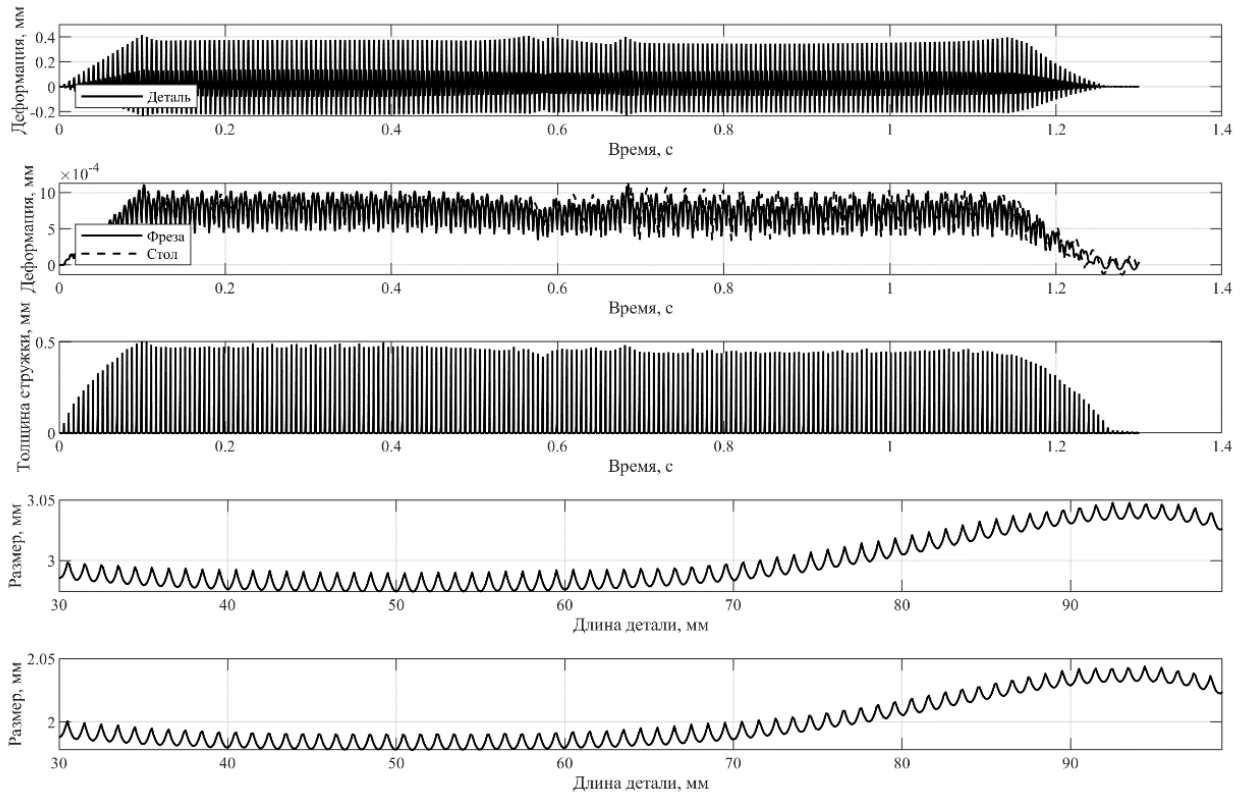
Скорость резания 243 м/мин



Скорость резания 285 м/мин



Скорость резания 324 м/мин



Скорость резания 360 м/мин

