

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение школы(НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния параметров фрезерования на точность обработки не жёстких деталей

УДК 621.914.1-021.416

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ван Вэйчэнь		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Коротков Владимир Сергеевич	К.Т.Н		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, старший преподаватель	Козарь Дмитрий Михайлович	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук, доцент	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин, старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Мартюшев Никита Владимирович	К.Т.Н		

Томск – 2021г.



Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
Отделение школы(НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП 15.04.01
_____ Мартюшев Н.В.
« ___ » _____ 2021

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Ван Вэйчэнь

Тема работы:

Исследование влияния параметров фрезерования на точность обработки не жёстких деталей

Утверждена приказом директора (дата, номер)

102-33/с от 12.04.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

10.06.2021

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

Объект исследования: Математическая модель процесса фрезерования пластины.
Целью данной работы является теоретическое проверка возможности управления точностью обработки пластины при фрезеровании.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор; 2. Создание математической модели установки; 3. Исследование программы с помощью Матлаб; 4. Исследование деформаций детали при нагрузке; 5. Исследование математической модели процесса обработки пластины с учетом частоты вращения; 6. Анализ результатов.
Перечень графического материала	Трёхмерная модель исследуемой пластины, графики исследований, математическая модель.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Раздел ВКР на иностранном языке	Айкина Татьяна Юрьевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Investigation of the influence of milling parameters on the machining accuracy of non-rigid parts

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.10.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Коротков Владимир Сергеевич	К.Т.Н		10.10.2020

консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, старший преподаватель	Козарь Дмитрий Михайлович	К.Т.Н		10.10.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	Ван Вэйчэнь		10.10.2020

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, вырабатывать 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, вырабатывая 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

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 155 страницы, 72 рисунков, 23 таблицы, 42 источника, 4 приложения.

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

Объектом исследования является математическая модель процесса фрезерования тонкостенной детали.

Целью данной работы является теоретическое проверка возможности управления точностью обработки пластины при фрезеровании.

Найдены значения технологических параметров математической модели обработки тонкостенной детали во времени. Создана программа для чтения, полученного другой программой результата значений и программа для создание различных графиков зависимостей технологических параметров. Произведен анализ полученных данных.

Содержание

Введение.....	11
1. Исследовательский раздел.....	14
1.1 Литературный обзор.....	14
Заключение раздела.....	32
1.2 Расчеты и аналитика.....	34
1.3 Исследование деформаций и жёсткости обрабатываемой детали.....	38
1.4 Исследование математической модели процесса обработки.....	58
1.5 Считывание данных с помощью MATLAB.....	59
1.6 Анализ поведения технологических характеристик во времени при разной частоте резания.....	62
Заклучение раздела	74
2 Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	76
3 Раздел «Социальная ответственность»	102
Список литературы.....	120
Приложение А.....	127
Приложение Б.....	141
Приложение В.....	144
Приложение Г.....	145

Введение

В авиакосмической, авиакосмической, энергетической и других отраслях широко применяется фрезерование тонкостенных деталей. Одним из ключевых факторов, ограничивающих высокоскоростное фрезерование для достижения высокой скорости, эффективности и точности обработки, является вибрация во время процесса фрезерования. Из-за низкой жёсткости тонкостенных деталей в процессе фрезерования будет возникать вибрация, которая вызовет некоторые негативные эффекты, такие как плохое качество обработки поверхности, неравномерный износ инструмента и т.д. Для таких деталей обязательно минимизировать деформацию. Поэтому подавление вибрации тонкостенных деталей во время фрезерования всегда было актуальной темой в академических и промышленных исследованиях. Для обработки деталей со слабой жёсткостью не используется традиционный метод закрепления деталей и режимы резания, полученные стандартными расчётами. Деформация, вызванная усилием резания и усилием зажима, серьёзно повлияет на качество и точность поверхности ключа. С развитием аэрокосмической и авиационной техники требования к конструкции тонкостенных деталей становятся все более строгими.

В этой статье программные методы моделирования и анализа используются для уменьшения воздействия вибрации и деформации во время фрезерования. Например, постройте модель детали в программном обеспечении Solidworks и примените усилие фрезерования к модели для расчёта жёсткости детали в соответствии с переменной деформации. Этот

экспериментальный метод очень необходим на этапе проектирования обработки и производства, а технический процесс отвечает современным тенденциям цифрового производства.

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

Объект исследования: Математическая модель процесса фрезерования пластины.

Предмет исследования: Влияние частоты фрезерования на точность обработки не жёстких пластин.

Целью данной работы является теоретическое подтверждение зависимости точности обработки не жёстких пластин от частоты фрезерования.

Задачи, решаемые для достижения поставленной цели:

1. Провести литературный обзор по моделированию процессов обработки металлов.

2. Определить механические характеристики пластин.

3. Провести математическое моделирование процесса фрезерования тонкостенных пластин.

4. Обработать экспериментальные данные и построить графики.

5. Выполнить анализ полученных результатов.

Научная новизна заключается в установлении влияния частоты фрезерования на точность обработки тонкостенных пластин.

1. Исследовательский раздел

1.1 Литературный обзор

Развитие приводных технологий, систем ЧПУ и CAD / CAM сделало процесс фрезерования сложных контурных деталей более эффективным, таких как детали кузова, лезвия, электрические машины т.д.

Повышение производительности фрезерования и достижение требуемой точности обработки существенно влияет на конкурентоспособность машиностроительного предприятия, что обуславливает актуальность исследования. Решение данной задачи сводится к определению возможности увеличения рабочих подач, частоты вращения шпинделей станочного оборудования, сокращения времени холостых ходов и вспомогательных перемещений. Это связано с развитием современных технологий – высокоскоростного резания (HSC – high speed cutting) и высокопроизводительной обработки (HSM – high speed machining).

На производстве назначение режимов резания при обработке осуществляется методом проб с учётом соответствующих рекомендаций и опыта. При этом, как правило, используются заниженные режимы резания, что приводит к уменьшению производительности. Также известно, что на качество изготавливаемых деталей большое влияние оказывают динамические процессы, протекающие в оборудовании. Учёт данных процессов при назначении режимов резания должен способствовать определению наиболее производительных режимов, обеспечивающих требуемую точность обработки.

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

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

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

Для повышения точности и качества поверхности не жёстких детали следует учитывать динамические параметры системы фреза–деталь.

В работе [1] показано, что на винтовой зуб фрезы действуют сила резания P_z , радиальная сила P_y и осевая сила P_o .

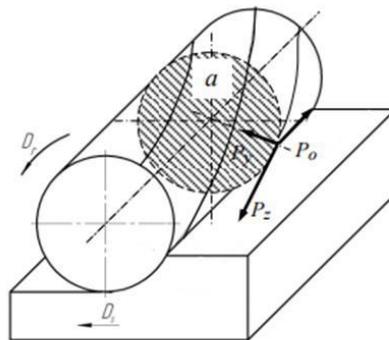


Рисунок 1.1 – Силы резания на примере цилиндрического фрезерования фрезой с винтовым зубом.

Осевая сила P_o действует вдоль оси фрезы, направления её действия зависит от направления спирали зуба.

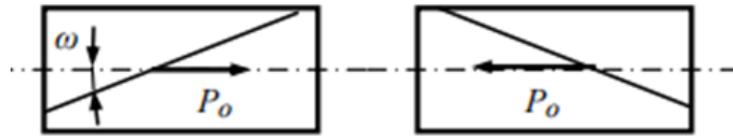


Рисунок 1.2 – Направления осевой силы.

В сечении a равнодействующая R' сил резания P_z и радиальной сил P_y может быть разложена на горизонтальную P_x и вертикальную составляющие P_z .

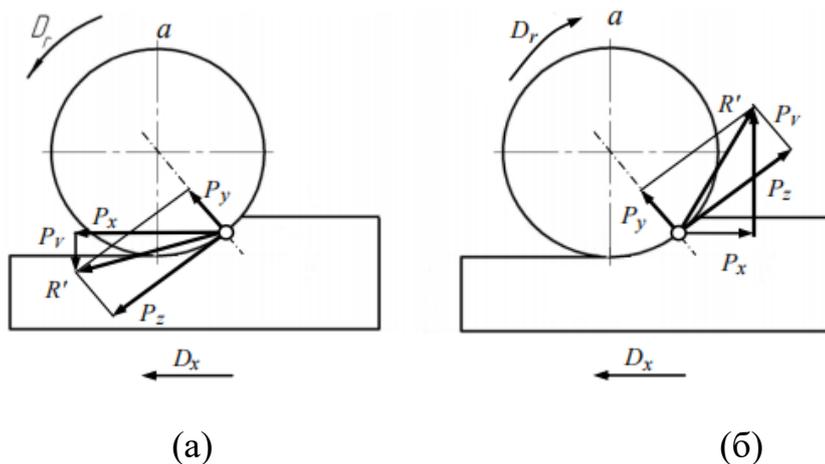


Рисунок 1.3 – Действие сил на фрезу: (а) – встречное фрезерование (против подачи); (б) – попутное фрезерование (по подаче)

При встречном фрезеровании сила P_y прижимает фрезу к заготовке, а сила P_z стремится оторвать заготовку от стола станка, а при попутном фрезеровании сила P_y отжимает фрезу от заготовки, а сила P_z стремится прижать заготовку к столу станка.

На рисунке 1.3 (а) показано, что при встречном фрезеровании D_r и D_x направлены навстречу друг другу при действии на фрезу сила P_y направлена

вниз, а сила P_x (сила подачи) совпадает с направлением подачи.

В [2] представлены три метода расчёта силы резания при фрезеровании с указанием их достоинств и недостатков соответственно. Расчёт и анализ экспериментальных данных показывают, что метод расчёта, предложенный Кинзле, имеет меньшие погрешности по сравнению с фактическими результатами, и имеет удобство расчёта и другие преимущества.

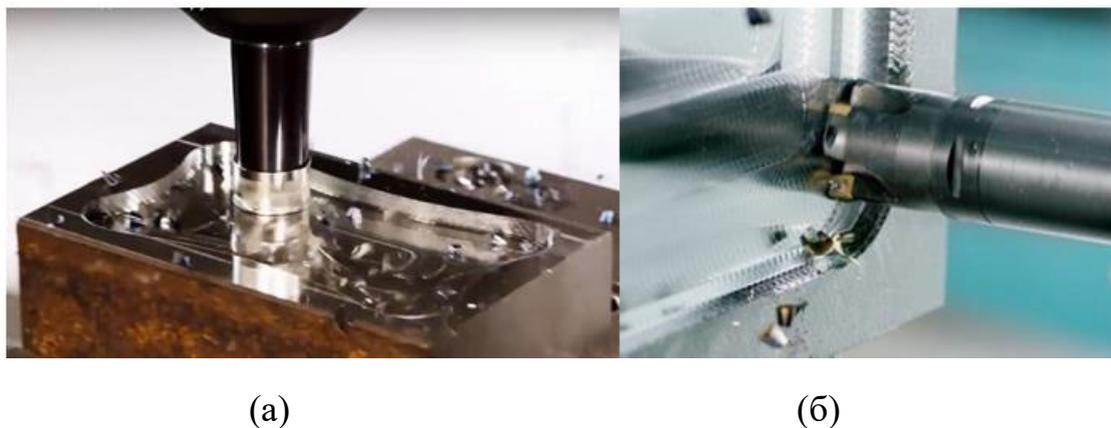


Рисунок 1.4 – Фрезы для работы на высоких подачах производителей:

а – Seco Tools; б – Sandvik Coromant

Известна методика, предложенная Кинцле, согласно которой, сила резания может быть определена из выражения:

$$P_Z = k_{c1.1} \cdot a \cdot h^{(1-m_c)}$$

В работе [3] рассмотрены влияния центробежной силы на траекторию движения инструмента при фрезеровании. На рисунке 1.5 приведена схема упругих смещений электронного шпинделя, возникающих под воздействием данных сил.

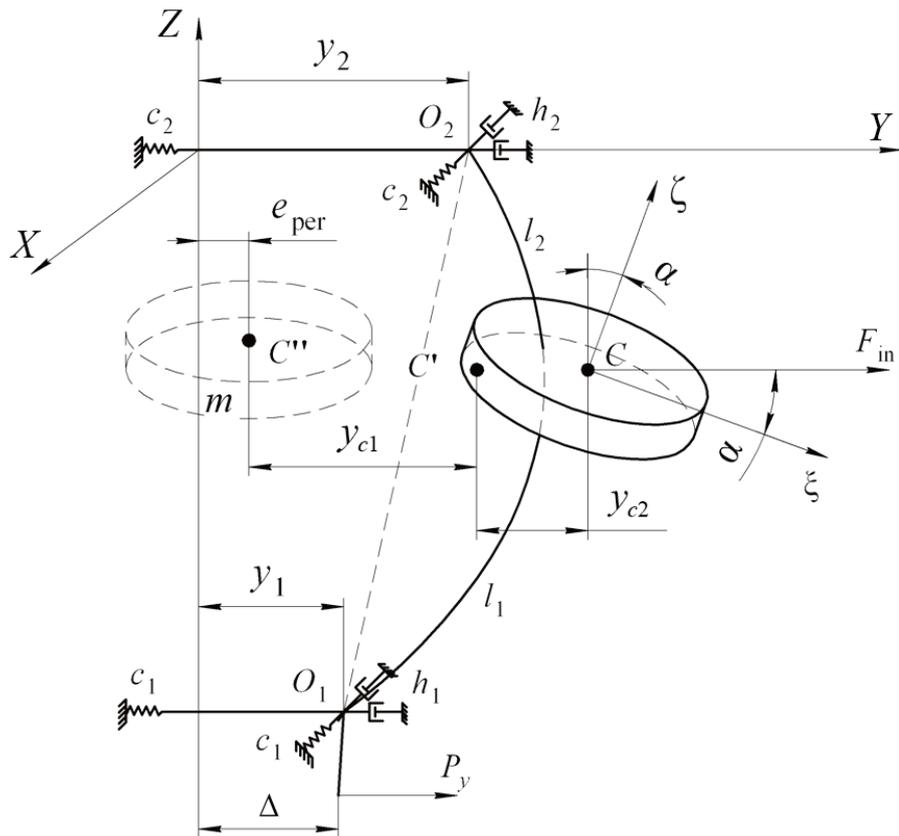


Рисунок 1.5 – Упругие смещения электронного шпинделя в процессе работы: y_1 , y_2 – смещение шпинделя в передней и задней опорах; y_{c1} – смещение центра масс шпинделя из-за смещений в опорах; y_{c2} – смещение центра масс из-за прогиба шпинделя

В работе [4] рассмотрены варианты фрезерования не жёстких деталей ГТД. Предложен метод компенсации погрешности, возникающей вследствие упругих перемещений заготовки под действием силы резания.

В работе [5] предложены причина и формула расчёта геометрической шероховатости. Проанализированы результаты экспериментальных исследований шероховатости, формируемой дисковым отрезным станком из композиционных материалов (например, стекловолокна) в процессе высокоскоростной обработки. Проведено сравнение полученных результатов с

расчётными данными.

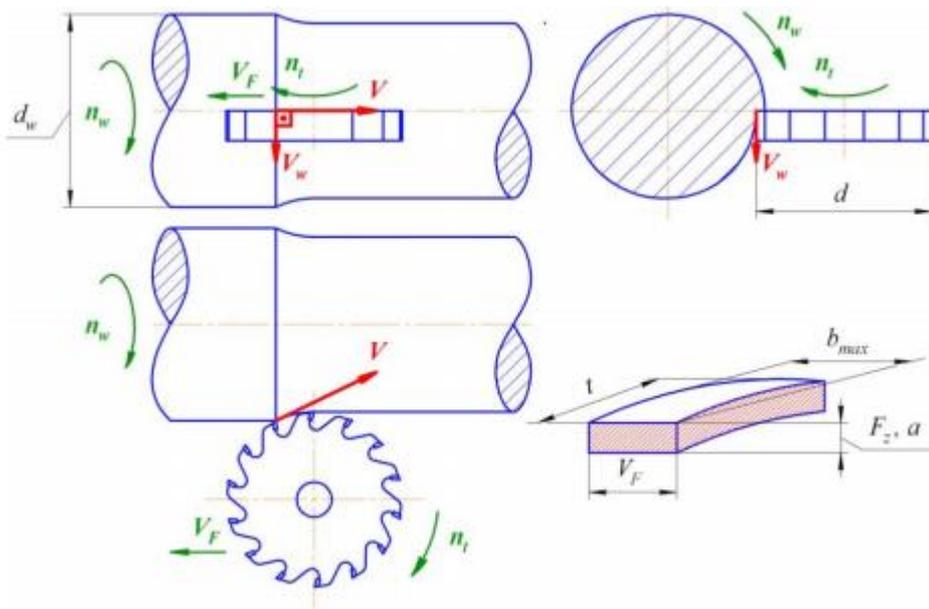


Рисунок 1.6 – Кинематическая схема высокоскоростного фрезоточения дисковыми фрезами и элемент срезаемого слоя

В работе [6] предложено, что высокоскоростная обработка (ВСО) - это метод обработки, сочетающий высокую подачу, высокую скорость, специфический инструмент и специфическое движение инструмента. ВСО может сократить цикл обработки и улучшить качество обработки.

В работе [7] изучалась система путём изменения параметров режима, эта система может рассчитывать силу резания в не жёстком режиме работы. Эта система изучает зависимость силы резания от глубины резания, скорости подачи и скорости резания, этих трёх параметров. Авторами предложен алгоритм, который может быть реализован, как на базе средств автоматизированных цифровых технологий, так и с применением простого графического моделирования процедуры расчёта на номограммах.

В статье [8] рассмотрен способ обработки тонкостенных деталей,

который создает условия для производства с минимальными материальными и ресурсными затратами и позволяет добиться бездефектной обработки. Автор использует систему ANSYS для моделирования условий обработки вращающихся деталей, закрепленных на трёхкулачковом патроне, анализа силы детали и предложения алгоритма определения обработки упругих деталей без превышения допустимого диапазона отклонений технические условия.

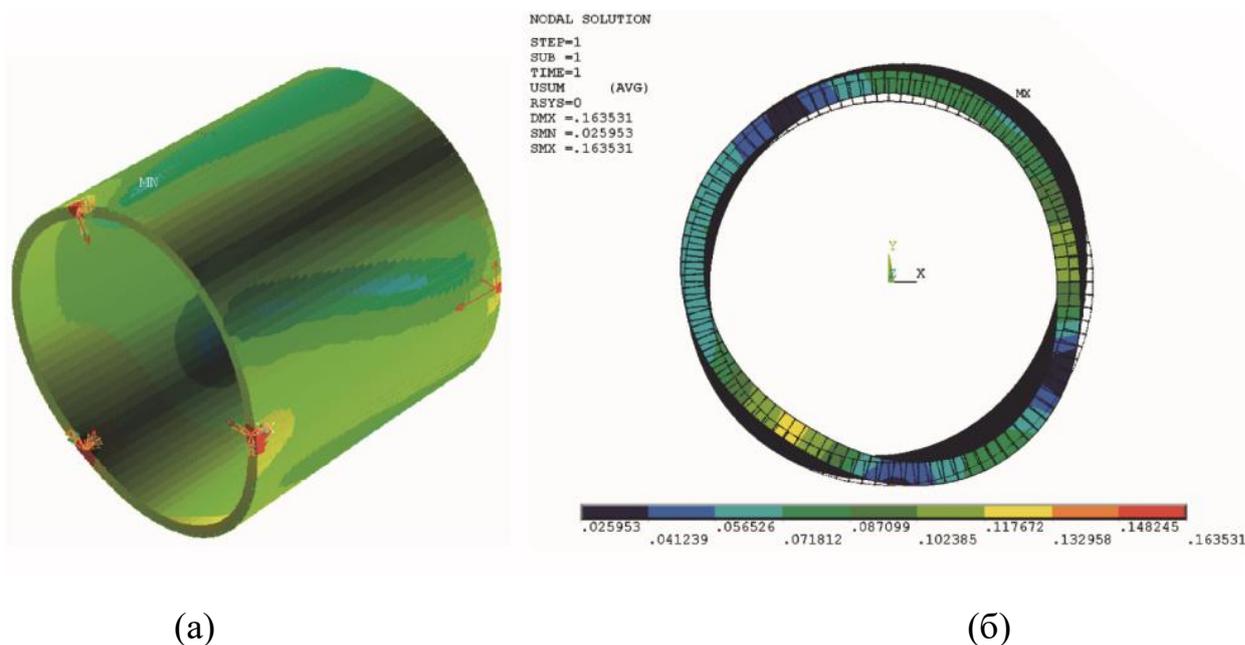


Рисунок 1.7 – Графическая диаграмма деформированной детали (а) и диаграмма масштабированных радиальных перемещений (б) при черновом точении

В статье [9] получены конечно – элементные модели колебаний системы приспособление – инструмент – заготовка, на основании которых выданы исследования по назначению допустимых частот вращения шпинделя.

В статье [10] рассматриваются колебания в динамической системе.

В работе [11] представлена математическая модель процесса контурного фрезерования не жёстких деталей, с помощью которой можно

определять зоны устойчивых режимов резания, в условиях одновременного действия двух не жёстких элементов ТС (обрабатываемой детали и концевой фрезы).

Приведены наглядные рисунки модели при обработке податливой детали.

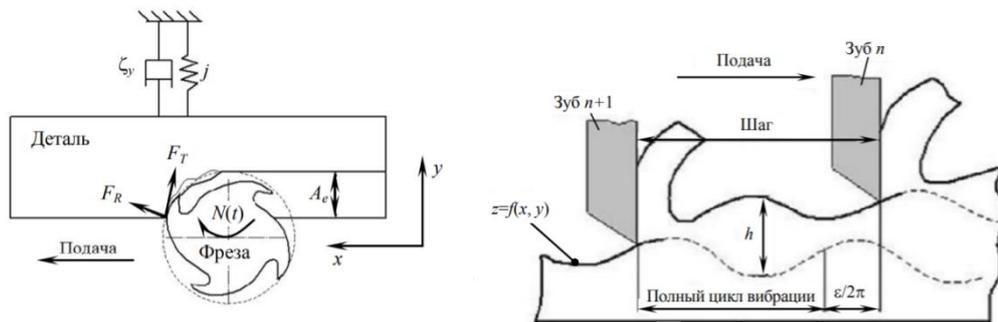


Рисунок 1.8 – Механическая модель процесса фрезерования.

На рисунке слева представлена модель процесса фрезерования с жёсткостью фрезы значительней меньше жёсткости детали и станка, на рисунке справа представлена модель, где жёсткость фрезы и детали меньше жёсткости станка.

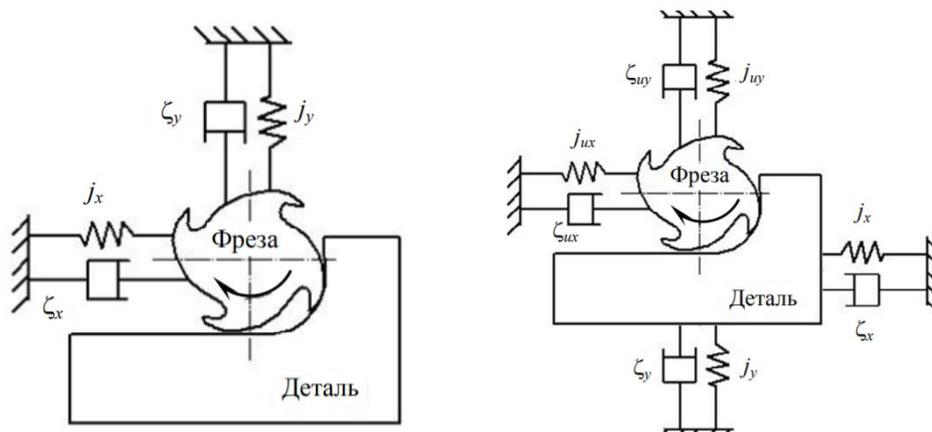
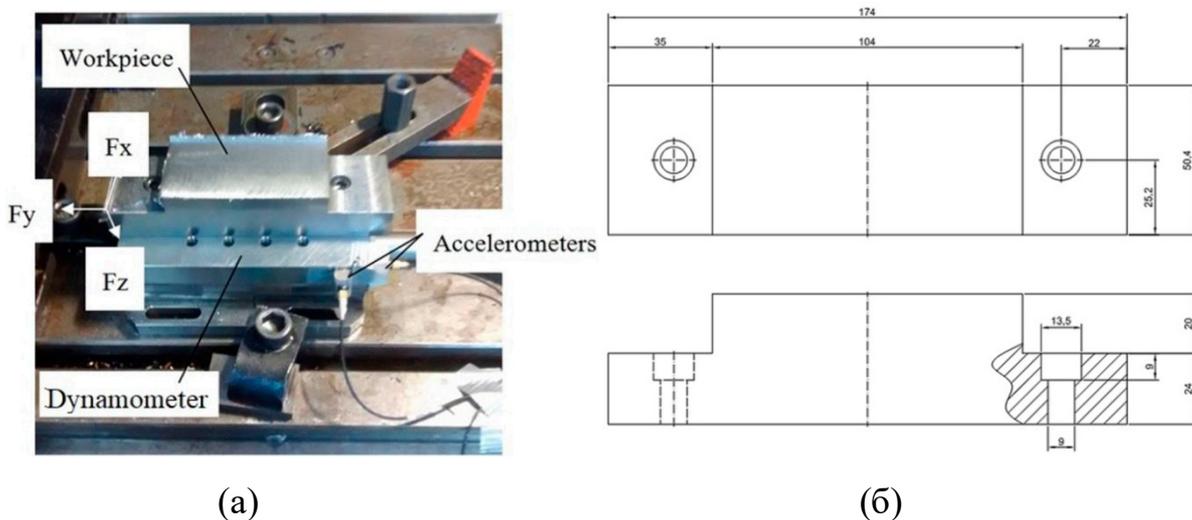


Рисунок 1.9 – Модель процесса фрезерования податливой детали

В статье [12] показано влияние взаимного расположения торцевой

фрезы по отношению к заготовке и кинематики фрезерования на составляющие сил резания, ускорение шпинделя станка в процессе торцевого фрезерования, и на шероховатости поверхности, полученной торцевое фрезерование.



(в)

Рисунок 1.10 – (а) экспериментальная установка; (б) спецификация заготовки; (в) фреза

В статье [13, 14, 15, 16] приведены методы снижения вибрации при фрезеровании тонкостенных элементов деталей. Проведены моделирования и анализ точности обработки не жёстких деталей при торцевом фрезеровании.

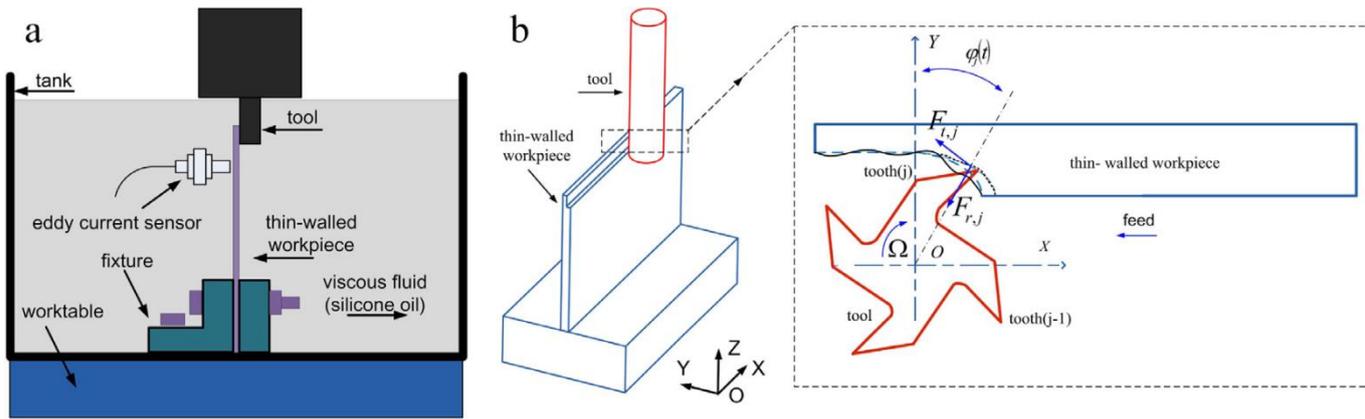
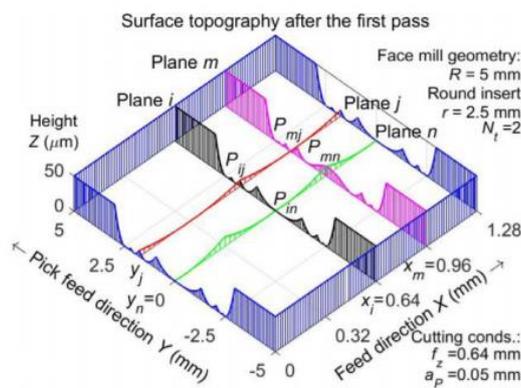
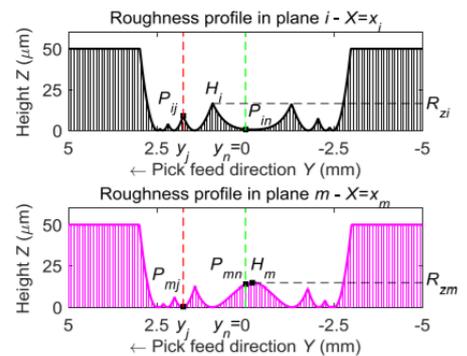


Рисунок 1.11 – Динамическая фрезерная модель для тонкостенной

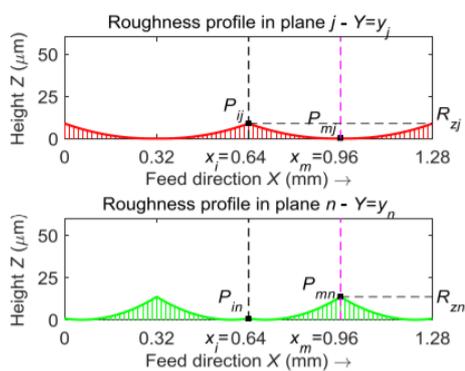
заготовки.



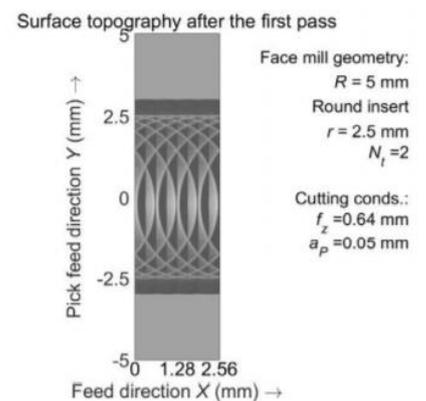
(a)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 1.12 – (а, б, в) Моделирование профилей шероховатости,

созданных в плоскостях i , j , m и n , (г) вид сверху моделируемой топографии

поверхности.

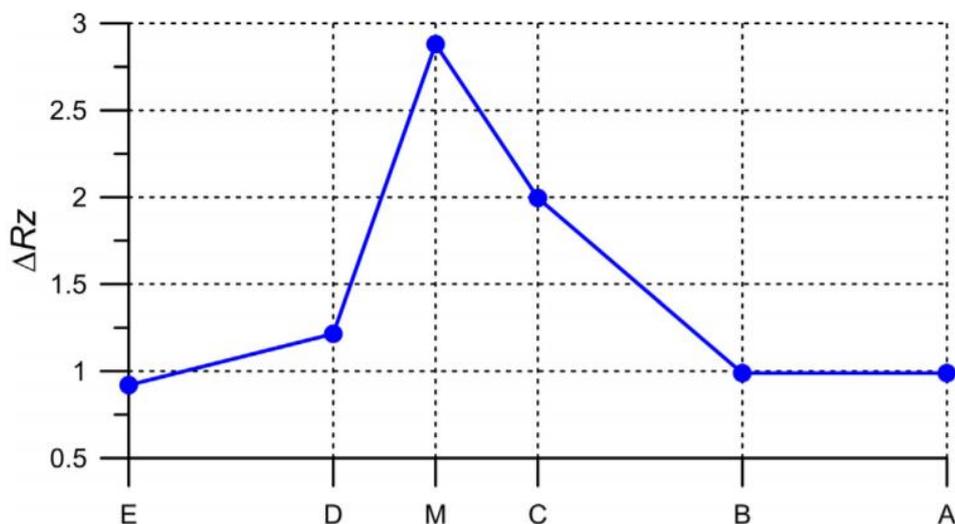


Рисунок – 1.13 Коэффициент шероховатости поверхности в зависимости от площади измерения для $v_c = 120$ м / мин.

Методика прогнозирования топографии поверхности, полученной при торцевом фрезеровании [14].

Методология, разработанная в этой статье для прогнозирования топографии, созданной на торцевых фрезерованных поверхностях, разделена на две части. В первой части методики, которая схематично показана на рисунке 1.14 (в), топография, созданная на поверхности заготовки после прохода торцевой фрезы вдоль направления подачи (ось X) с глубиной резания a_p , равна смоделировано.

Однако во многих случаях для фрезерования всей верхней поверхности заготовки, как показано на рисунке 1.14 (г), необходимо выполнить несколько перекрывающихся боковых фрезерных проходов, параллельных направлению подачи (ось X). Эти проходы фрезерования разделены на расстоянии a_e друг от друга по направлению подачи резца (ось

У) и устраняют глубину резания a_p . Расстояние a_e между боковыми проходами фрезерования совпадает с радиальной глубиной резания, которая удаляется торцевой фрезой (рисунок. 1.14 (г)). В этих случаях окончательная топография поверхности детали будет результатом пересечения траекторий, за которыми следуют пластины торцевых фрез в этих перекрывающихся проходах.

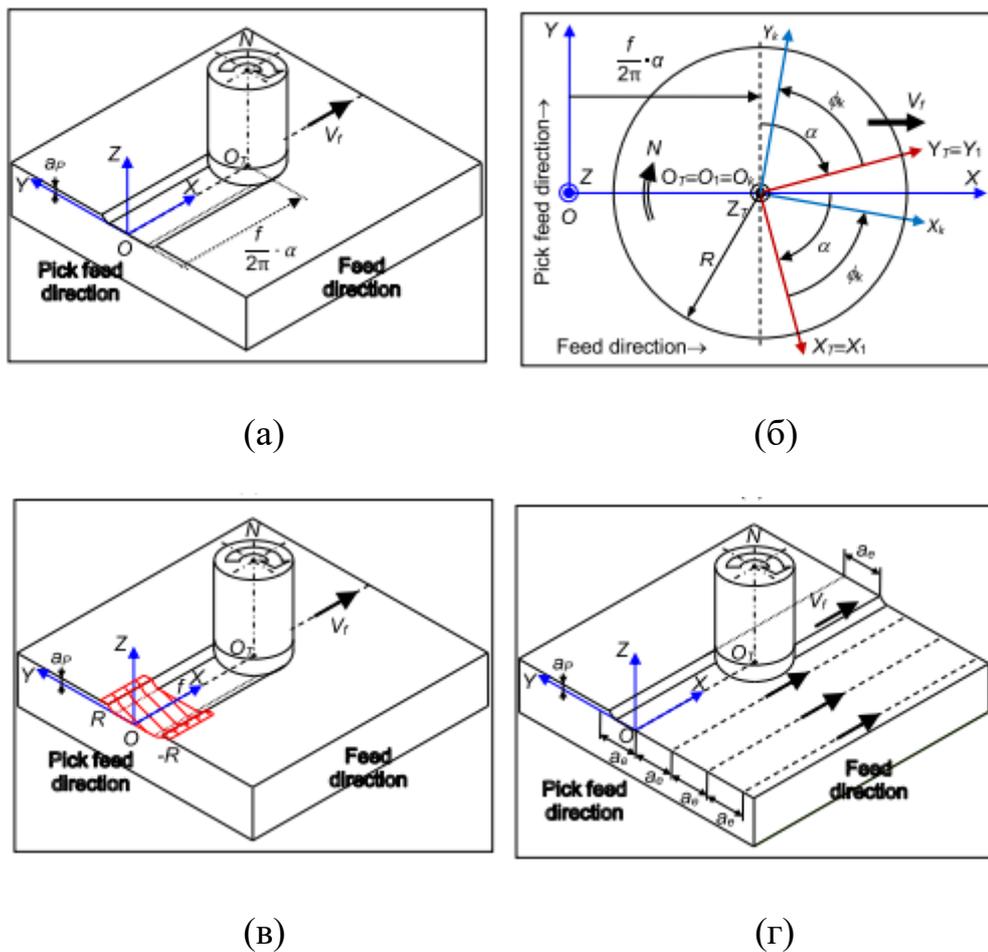


Рисунок – 1.14 (а) Определение системы координат заготовки XYZ и условий резания. (б) Моделирование траектории режущей кромки при торцевом фрезеровании. (в) Схематическое изображение топографии поверхности, созданной после первого прохода. (г) Схематическое изображение операции торцевого фрезерования заготовки после множества боковых

проходов.

Приведены результаты экспериментального исследования концевой фрезерования тонкостенных элементов деталей. Рассмотрен механизм формирования автоколебаний при попутном концевом цилиндрическом фрезеровании и его влияние на процесс резания [17].

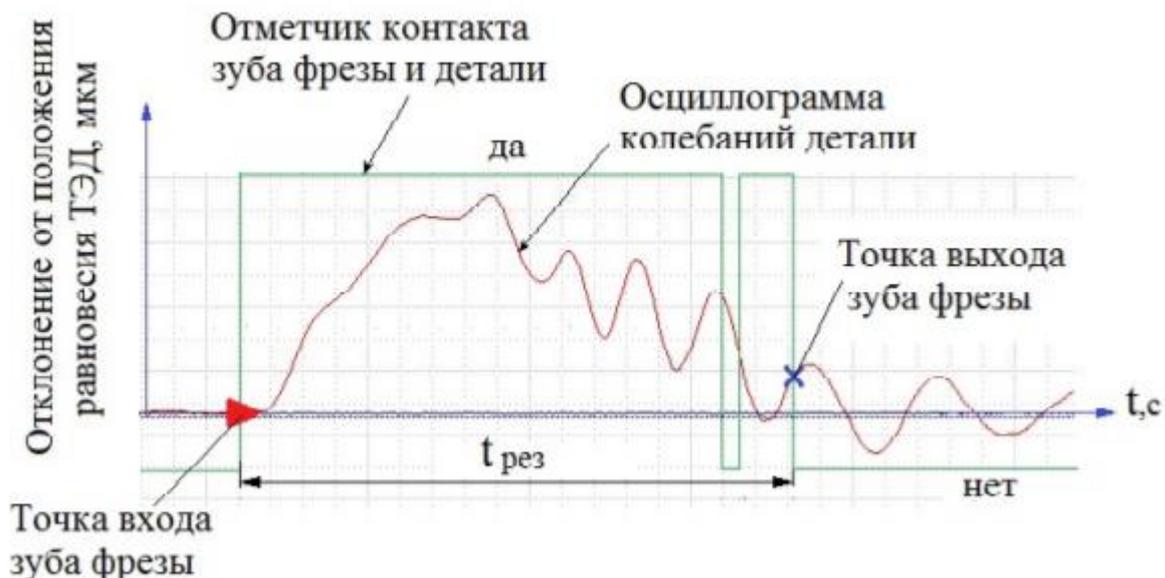


Рисунок 1.15 – Зависимость контакта зуба фрезы и детали в процессе концевой цилиндрического фрезерования во временном диапазоне

Приведены наглядные графики особенностей фрезерования тонкостенных деталей, статья [18].

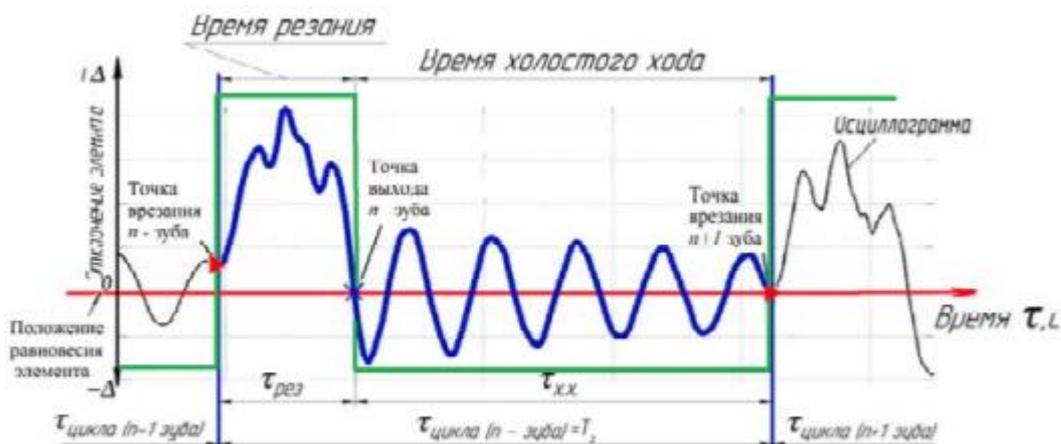


Рисунок 1.16 – График исследования из статьи [18].

Также в статье [19] был приведён подобный график.

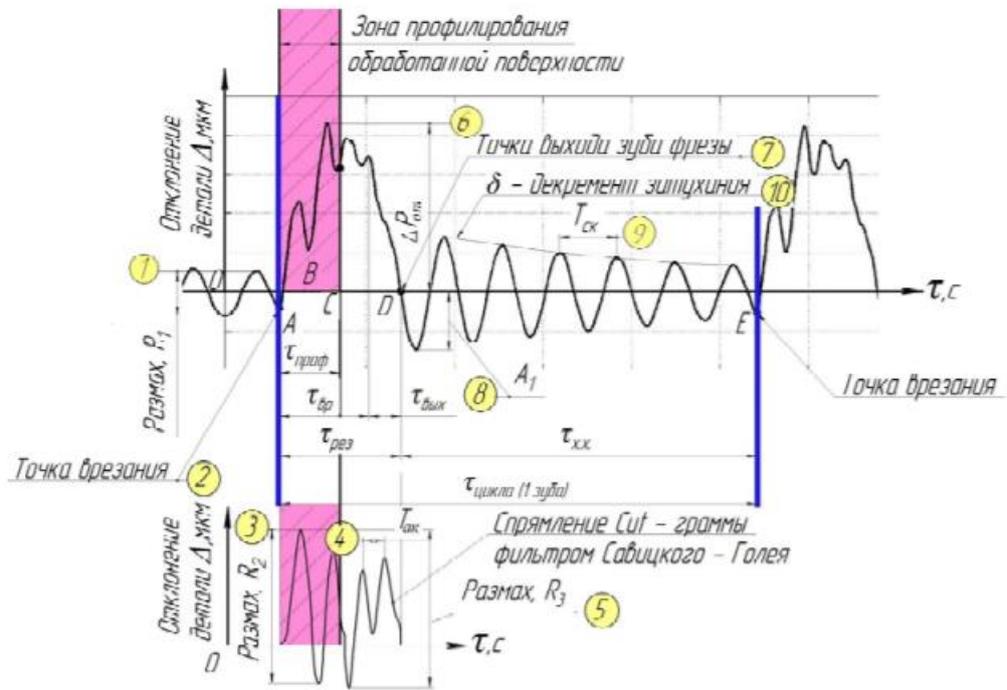


Рисунок 1.17 – График зависимости отклонения детали во времени.

В статье [20] при исследовании линейной модели с применением численного интегрирования были получены более точные границы зон устойчивых параметров процесса фрезерования относительно других зон устойчивости. Разработан дополнительный критерий устойчивости процесса, основанный на анализе качества обработанной поверхности.

Исследование характеристик поведения детали под действием различных нагрузок, переменных во времени в статье [21] показано что можно определить такие параметры системы как собственные частоты и формы колебаний, а также найти наибольшую амплитуду колебаний, распределение напряжений.

Метод конечных элементов используется для решения задач, связанных с моделированием прочности твёрдого тела и определением его механических свойств, а также частоты и режима собственных колебаний на основе свойств выбранного материала и геометрических данных детали [22].

В статье [23] показана возможность создания динамического вибрационного гасителя колебаний, предназначенного для снижения уровня вибраций. Так же в статьях [24,25] рассматривается устройство для защиты технологического оборудования от вибрации.

В статьях [26, 27, 28] разработаны основы математической модели процесса контурного фрезерования мало жёстких деталей, с помощью которой можно определять зоны устойчивых режимов. Для повышения качества обработанной поверхности и точности выбора режимов резания осуществляется в пределах выявленных зон устойчивости.

В работах [29, 30, 31] разработана стратегия подавления автоколебаний при фрезеровании, основанная на детектировании нарастания автоколебаний и коррекции частоты вращения фрезы в режиме реального времени. Проведена проверка предложенной стратегии на основе модели динамики плоского фрезерования, которая использовалась системой управления.

В статье [32] демонстрируется моделирование изменяющейся динамики детали для упрощённой геометрии лопасти с использованием FE – модального анализа. Все добываемые динамические состояния заготовки объединяются в уменьшенном LPV – модели (модели линейного параметра нестационарных). Модель LPV способна описывать изменяющееся

динамическое поведение процесса и делает возможным выбор выгодных скоростей шпинделя.

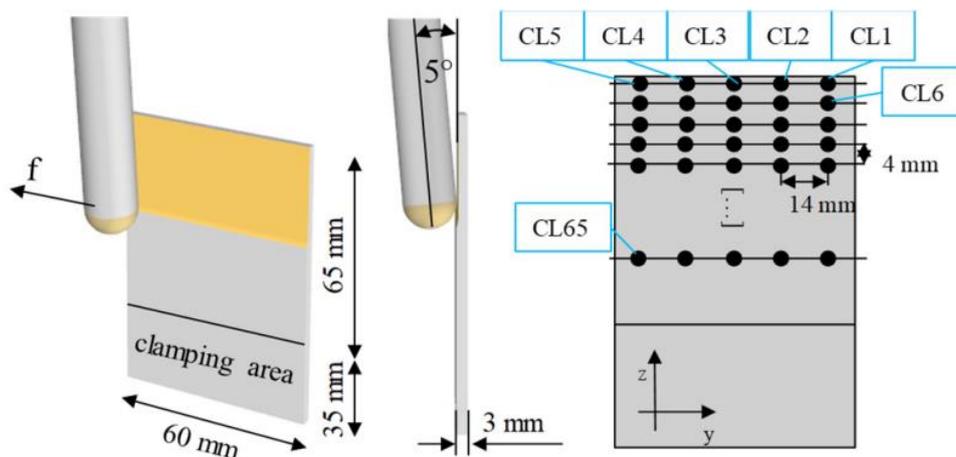


Рисунок 1.18 – Пластина заготовки и положение режущих кромок CL

Заготовка представляет собой тонкостенную пластину размером 100x60x3 мм из Ti-6Al-4V. Эта упрощённая геометрия был выбран, чтобы позволить чёткую оценку представленных методология. Чтобы гарантировать геометрическую точность, пластины были изготовлены методом электроэрозионной обработки с максимальным отклонением толщины 15 мкм. Глубина резания a_p , $n = 0,5$, мм по нормали к поверхности пластины, ширина резания установлена на $a_e = 0,1$ мм, а скорость подачи на зуб $f_z = 0,06$ мм.

Инструмент представляет собой концевую шаровую фрезу с диаметром 16 мм, 6 зубьями и углом наклона винтовой канавки 45° . Траектория инструмента разделена на 500 линейных проходов с углом наклона 85° , как показано на рисунке 1.19. Для дальнейшего моделирования силы резания и модального моделирования на траектории инструмента задаются 65

интересующих положений резца (CL), где выполняется дискретный анализ вибрации. На рисунке 1.19 показано расположение выбранных CL.

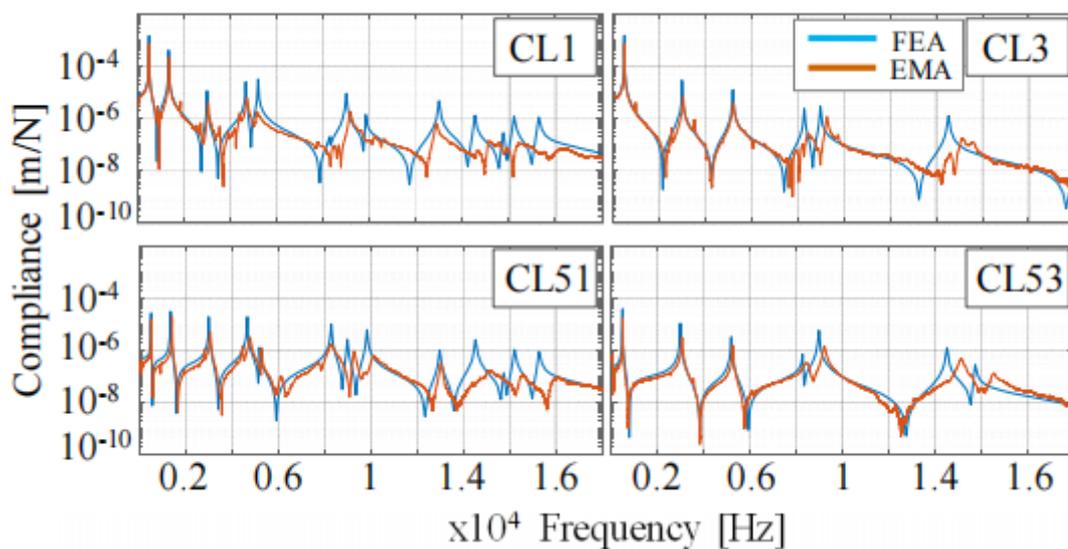


Рисунок 1.19 – Сравнение жёсткости на разных точках и частотах.

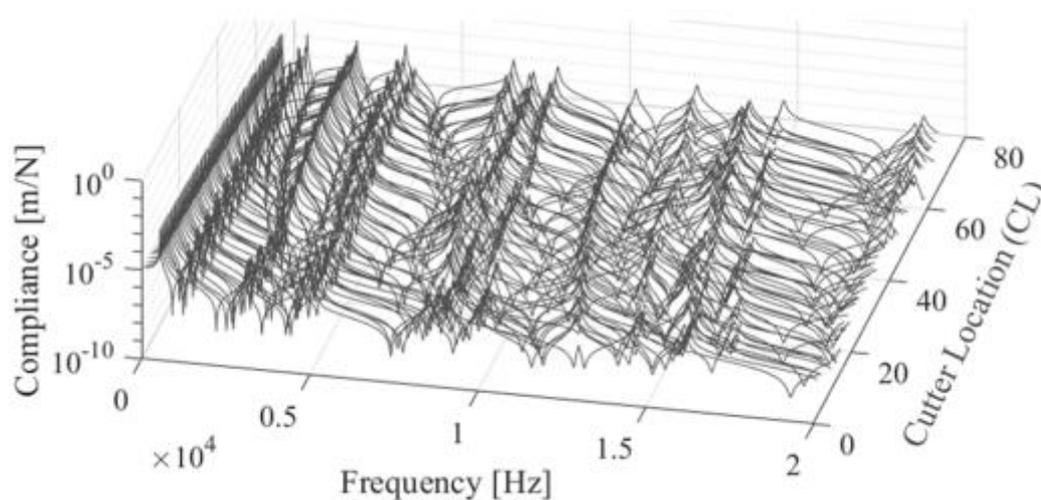


Рисунок 1.20 – Имитация заготовки (CL)

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

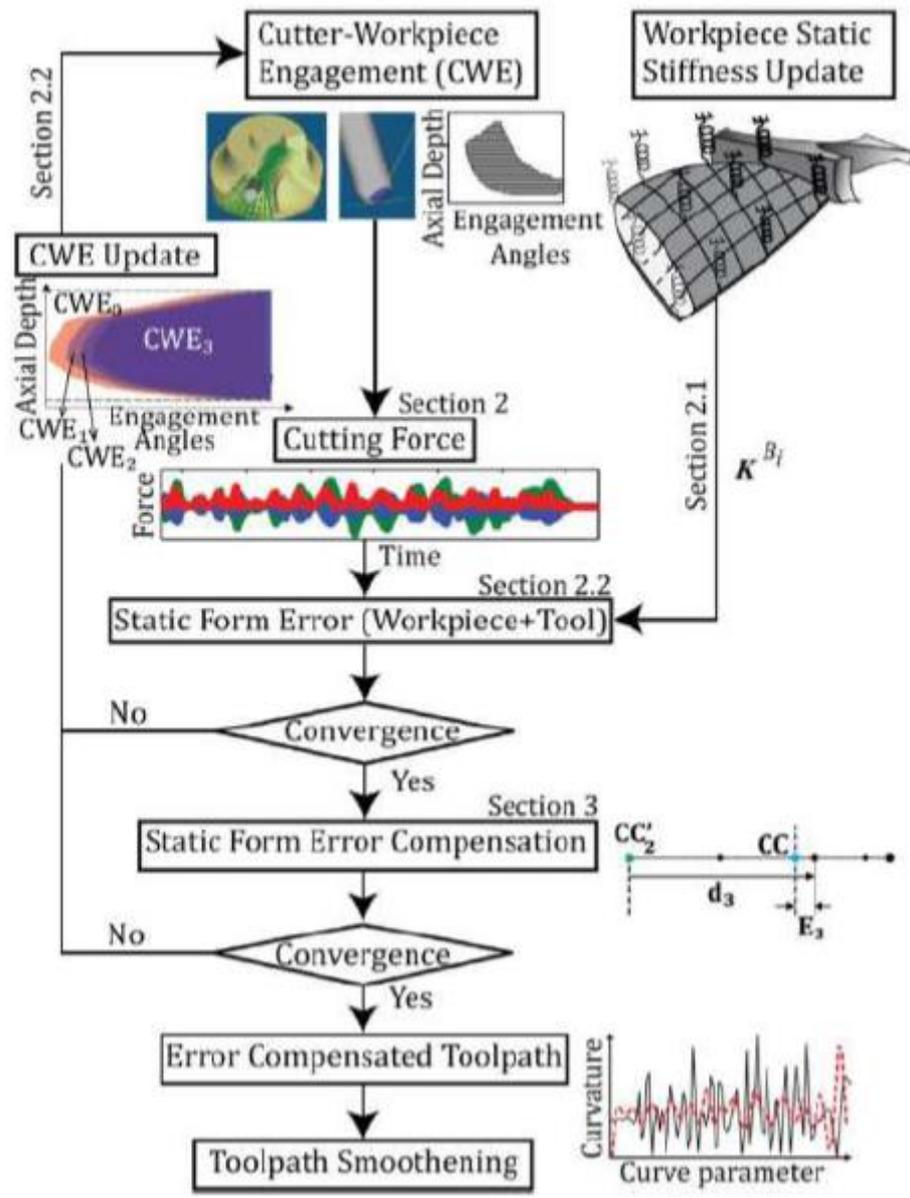


Рисунок 1.21 – Алгоритм программы технологических параметров системы с автокорректировкой режима.

Заключение раздела

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

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

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

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

3. Управление режимами обработки в реальном времени. Первые два направления к настоящему моменту уже глубоко изучены и применяются в промышленности. Последнее направление стало активно исследоваться с появлением станков с ЧПУ, позволяющих менять режимы резания непосредственно в процессе обработки. Это открыло возможности для поиска совершенно новых методов активного воздействия на вибрацию технологической системы при резании.

Несмотря на то, что описанные подходы позволяют моделировать динамику процесса фрезерования, каждый из них имеет недостатки: либо не

учитывается изменение динамических характеристик заготовки по мере снятия материала, либо алгоритм геометрического моделирования содержит в себе возможность возникновения существенных погрешностей, или непригоден для моделирования обработки сложно-профильных деталей, либо исследуется.

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

1.2 Расчеты и аналитика

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

SolidWorks является 3D – механическое программное обеспечение САПР, разрабатываемый SolidWorks, дочерняя компания Dassault Systemes С.А., который работает на платформе Microsoft Windows. SolidWorks является одним из наиболее популярных программ САПР. В данной работе, компьютерная программа SolidWorks используется в основном для выполнения трехмерного моделирования объекта исследования, а также для анализа напряжения, деформации и перемещения деталей.

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

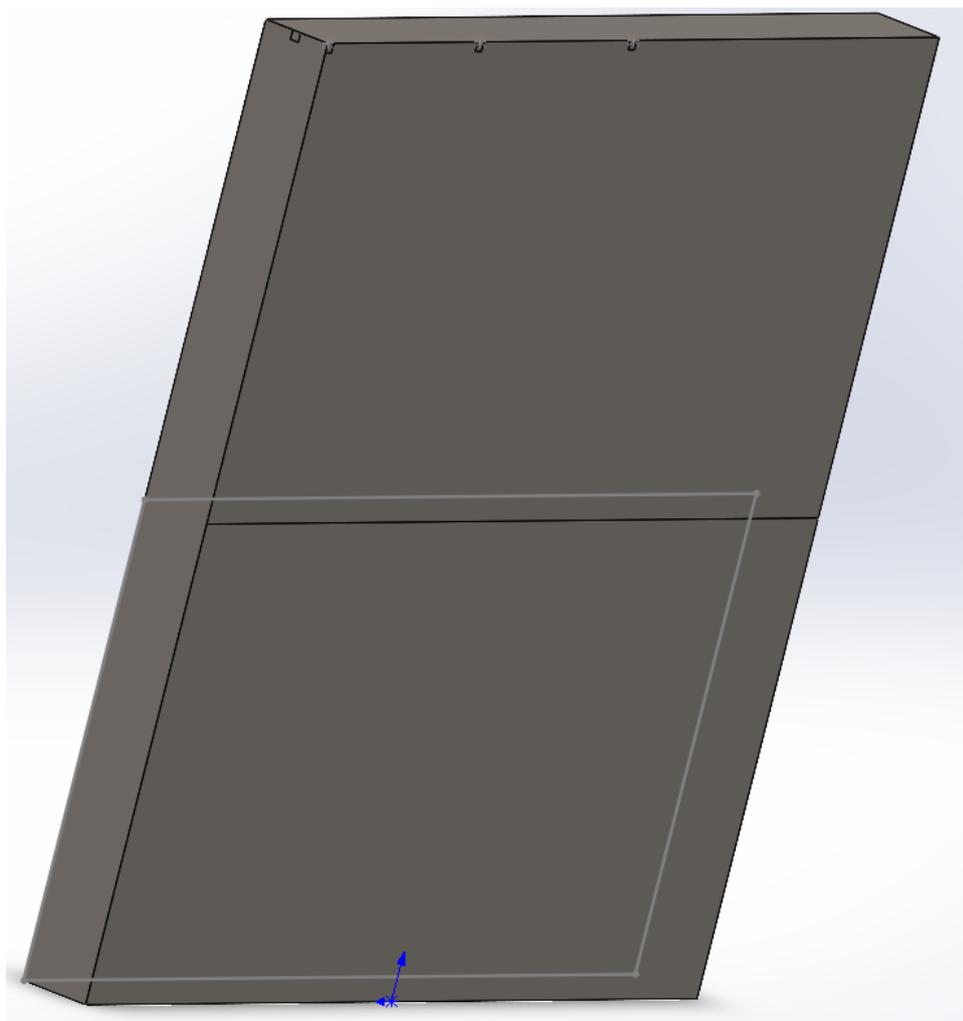


Рисунок 1.22 – 3D модель пластины построена в SolidWorks

MATLAB представляет собой высокоуровневый язык технических вычислений и интерактивная среда разработки алгоритмов, визуализации данных, анализ данных и численный расчет. В дополнение к общим функциям, таким как матричные операции, функции рисования / изображения данных, MATLAB также может использоваться для создания пользовательских интерфейсов и вызова программ, написанных на других языках (включая C, C++, Java, Python, FORTRAN). В данной работе необходимо использовать Matlab для реализации функций написания программ, анализа данных и численных расчетов, функции рисования / изображения данных и так далее.

Выбор материала, для изготовления пластины, основывается на нескольких факторах:

- (1) типом и размерами пластины;
- (2) условиями эксплуатации;
- (3) способом изготовления;
- (4) конечной стоимостью изделия.

Был выбран Сталь 45. Сталь 45 подходит для изготовления полуфабрикатов (листов, лент, фольги, полос, плит, прутков, профилей, труб поковок и штампованных заготовок) методом деформации, а также слитков; деталей газотурбинных авиационных двигателей. Свойства материала Сталь 45 представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Свойства материала Сталь 45

Теплопроводность λ ,	Вт/(м · град)	48 при 100 град
Плотность ρ ,	кг/см ³	7826
Предел прочности σ_v ,	МПа	610
Предел текучести σ_t ,	МПа	360
Относительное удлинение δ ,	%	15
Поперечное сужение ψ ,	%	15-20
Модуль упругости ,	ГПа	200

Ударная вязкость ,	кДж / м2	110-123
Модуль сдвига G,	Гпа	78
Удельная теплоемкость C,	Дж/(кг · К)	473
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$,	K^{-1}	11.9

Далее было добавлено место крепления пластины в SolidWorks показано на рисунке ниже зелеными стрелками

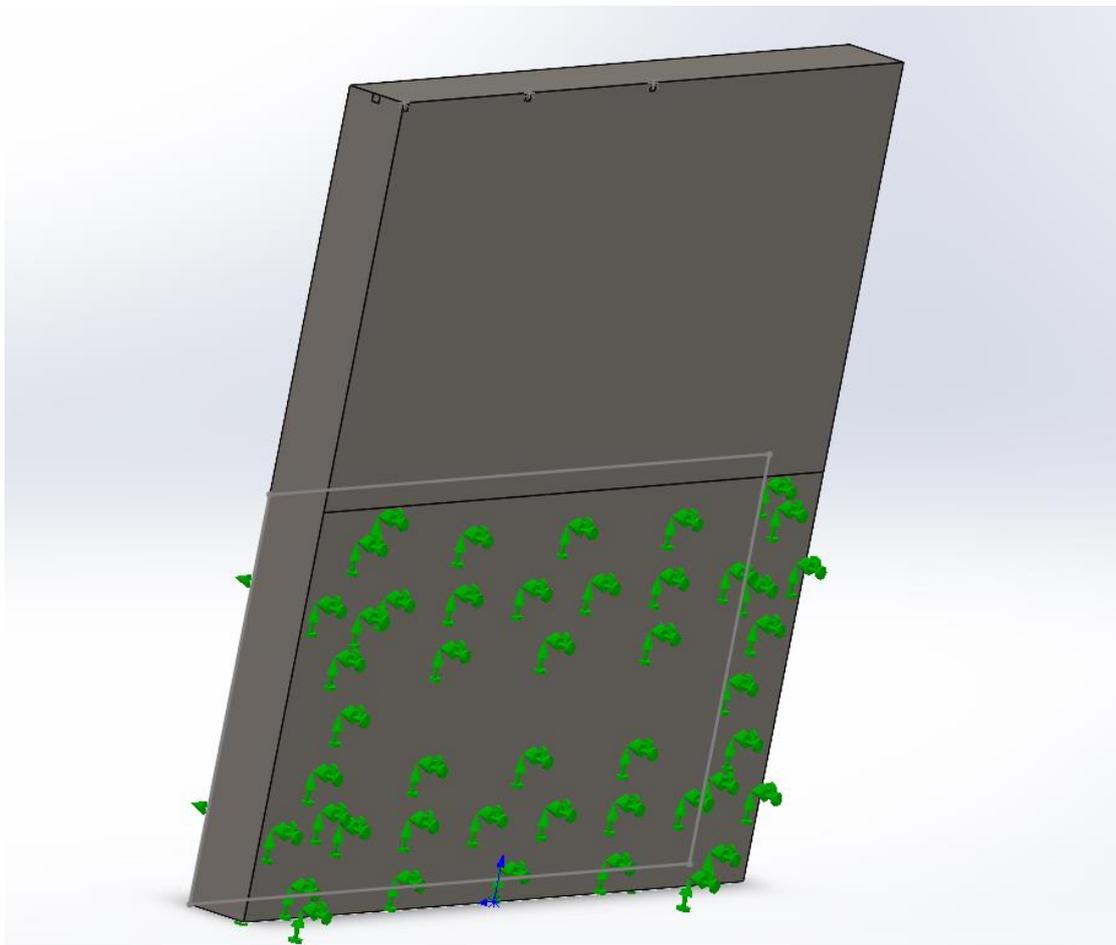


Рисунок 1.23 – Крепление пластины

1.3 Исследование деформаций и жёсткости обрабатываемой детали

Этапы исследования деформаций обрабатываемой детали при разной толщине

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

Для наблюдения зависимости были взяты пять точек, расположенные в пластине на расстоянии 25 мм друг от друга (Т1, Т2, Т3, Т2.2, Т1.1). На рисунке 1.24 показано расположение точек, к которым будет прикладываться сила, и их обозначение.

Так как деталь не имеет сложную форму, то технологические характеристики в разных точках поверхности этой детали не будут различаться, то есть деформация на точке Т1 и Т1.1, Т2 и Т2.2 будет одинаковая.

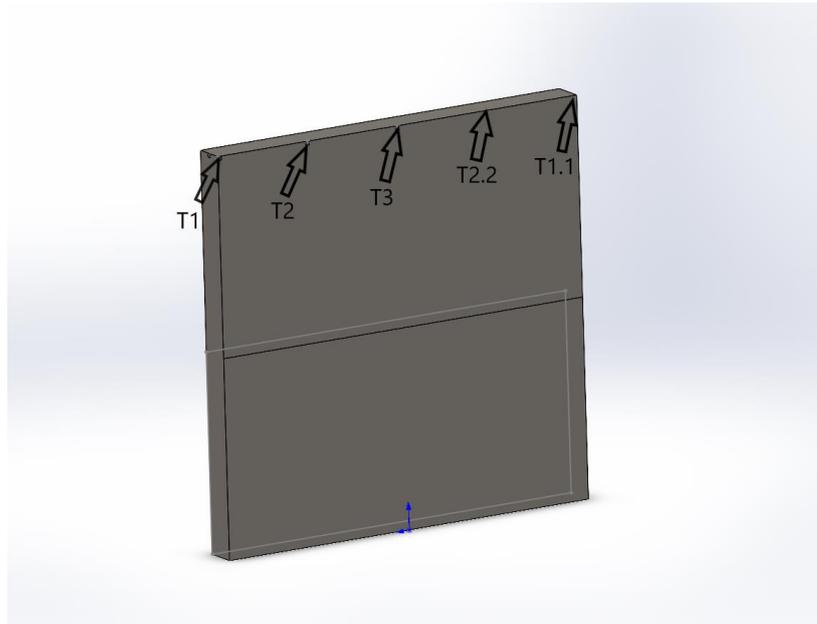


Рисунок 1.24 – Расположение контрольных точек.

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

6. Исследование и расчет жёсткости. Приведение результатов в таблицу. Анализ полученных данных

Последовательно прикладывая заданную силу в выбранные точки относительно друг от друга, в данном случае точки T1, T2, T3, T2.2, T1.1, находим деформацию поверхности с учетом приложенной силы. Ниже приведены изображения исследований, на которых показана информация о значении перемещений детали относительно начального положения, обозначена точка приложения силы.

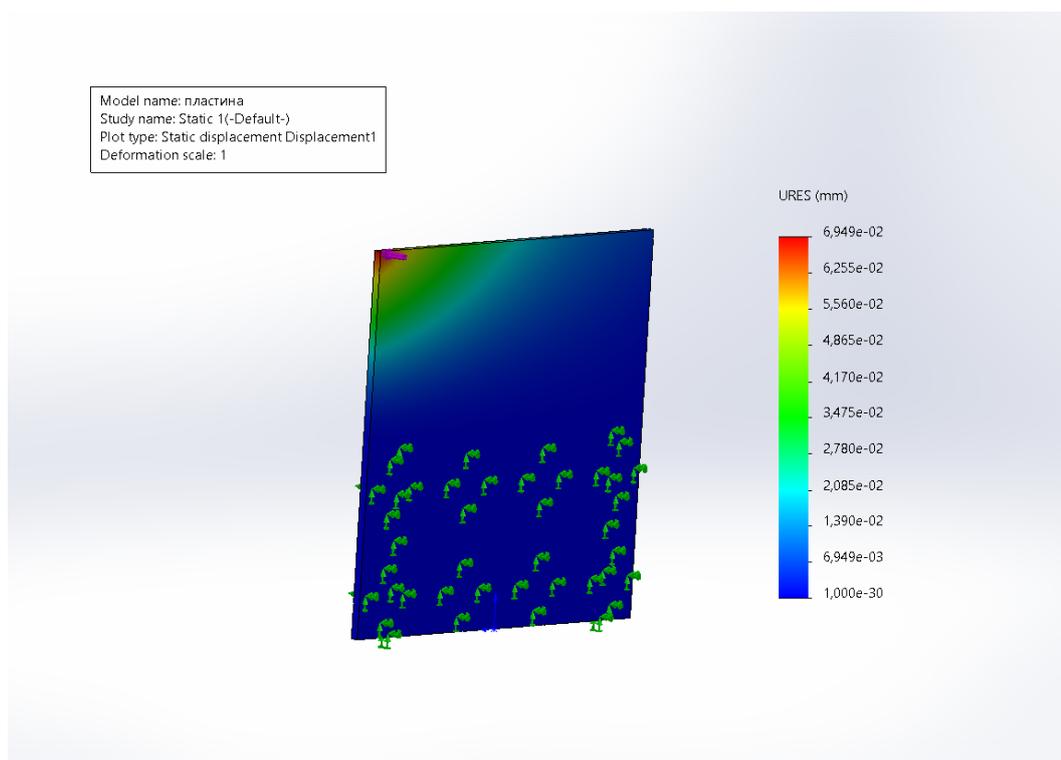


Рисунок 1.25 – Деформация при толщине пластины 2мм, в точке T1.

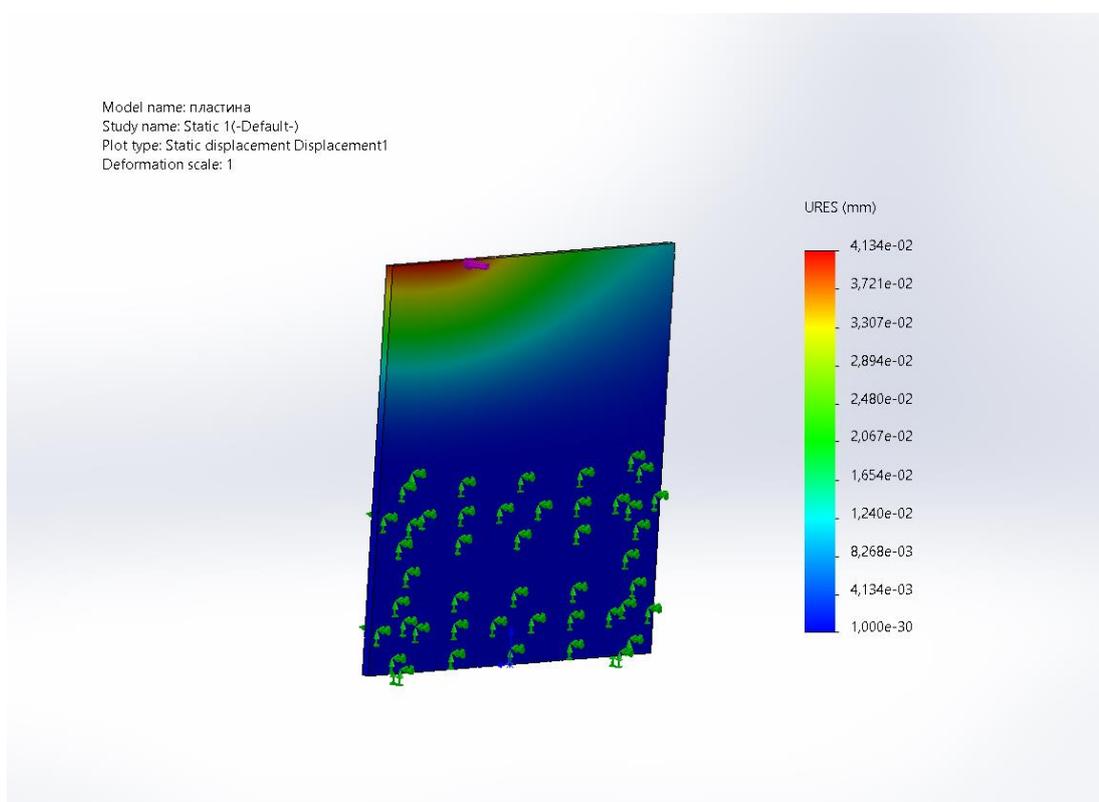


Рисунок 1.26 – Деформация при толщине пластины 2мм, в точке T2.

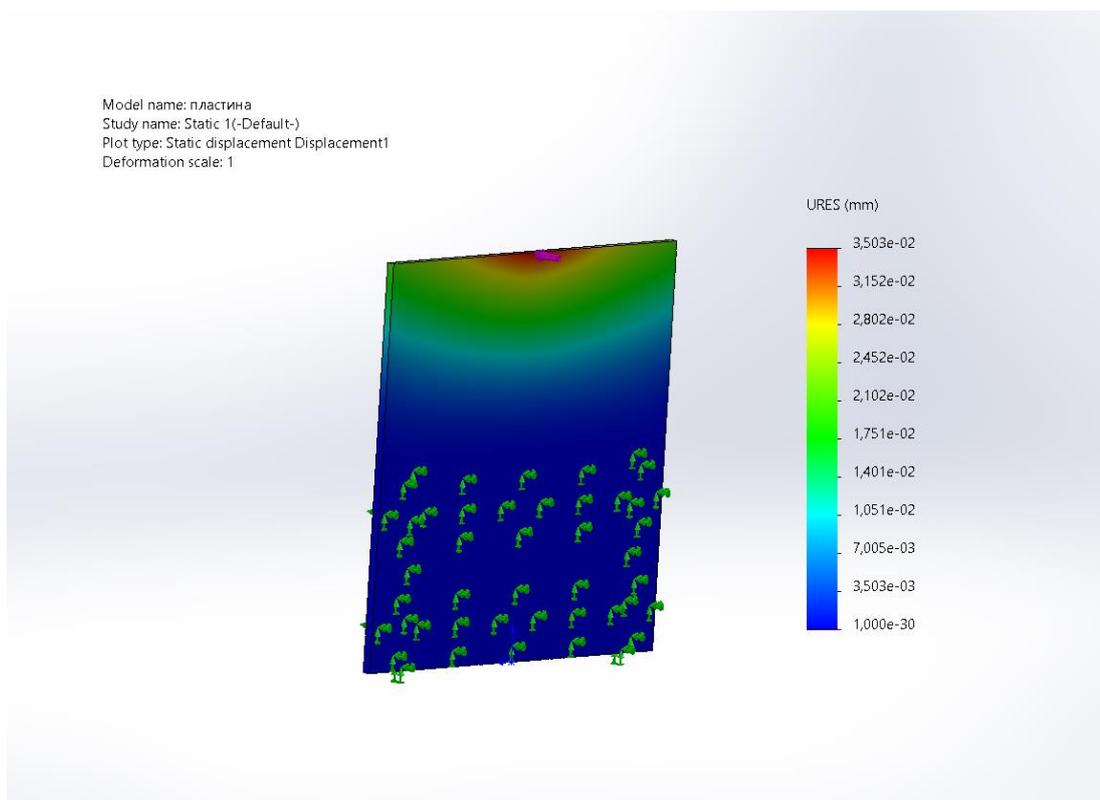


Рисунок 1.27 – Деформация при толщине пластины 2мм, в точке Т3.

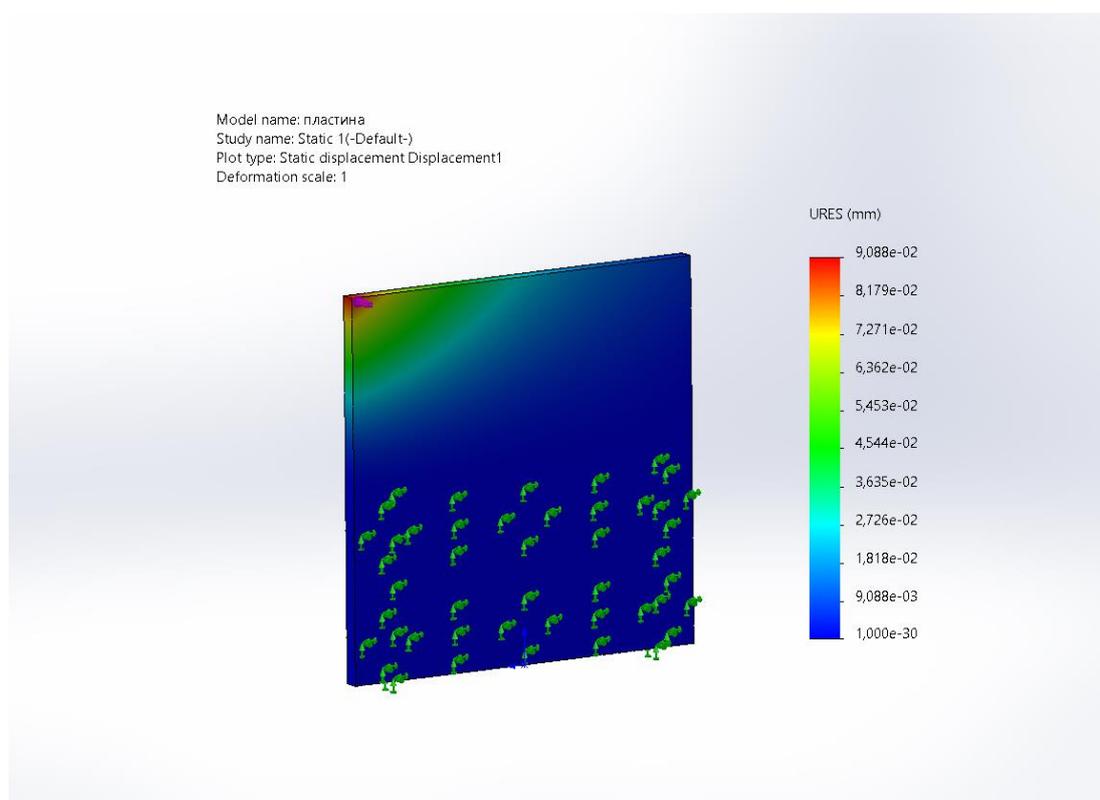


Рисунок 1.28 – Деформация при толщине пластины 4мм, в точке Т1.

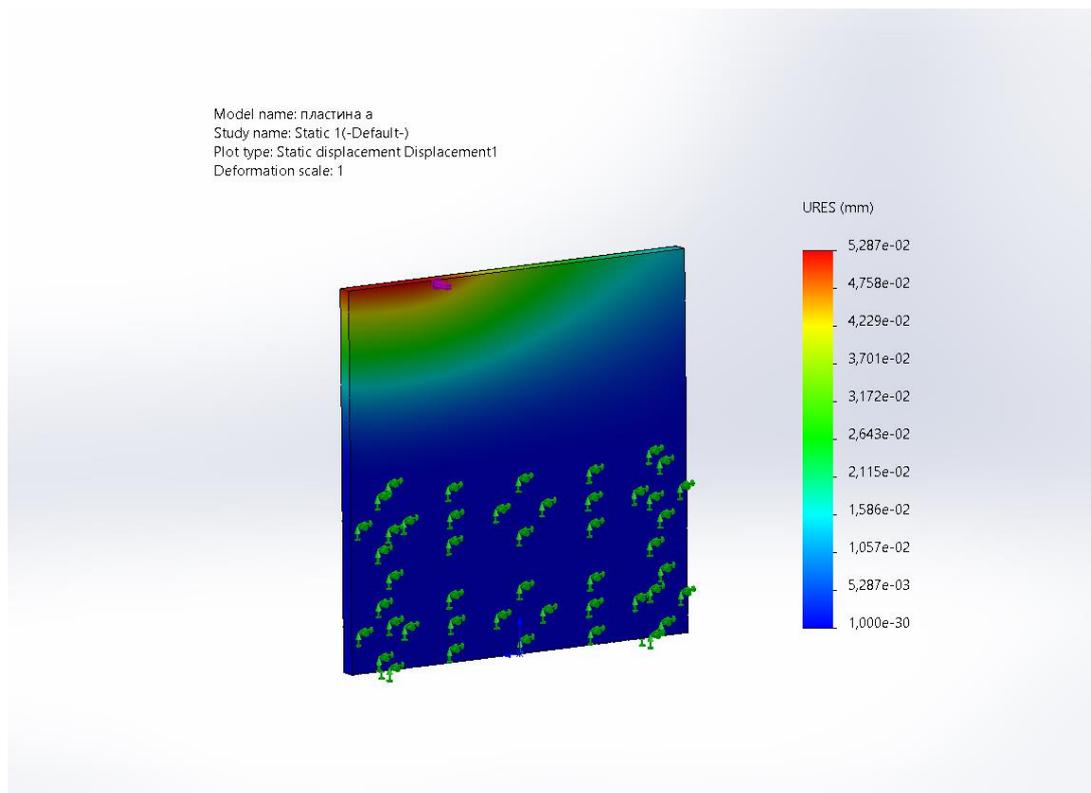


Рисунок 1.29 – Деформация при толщине пластины 4мм, в точке Т2.

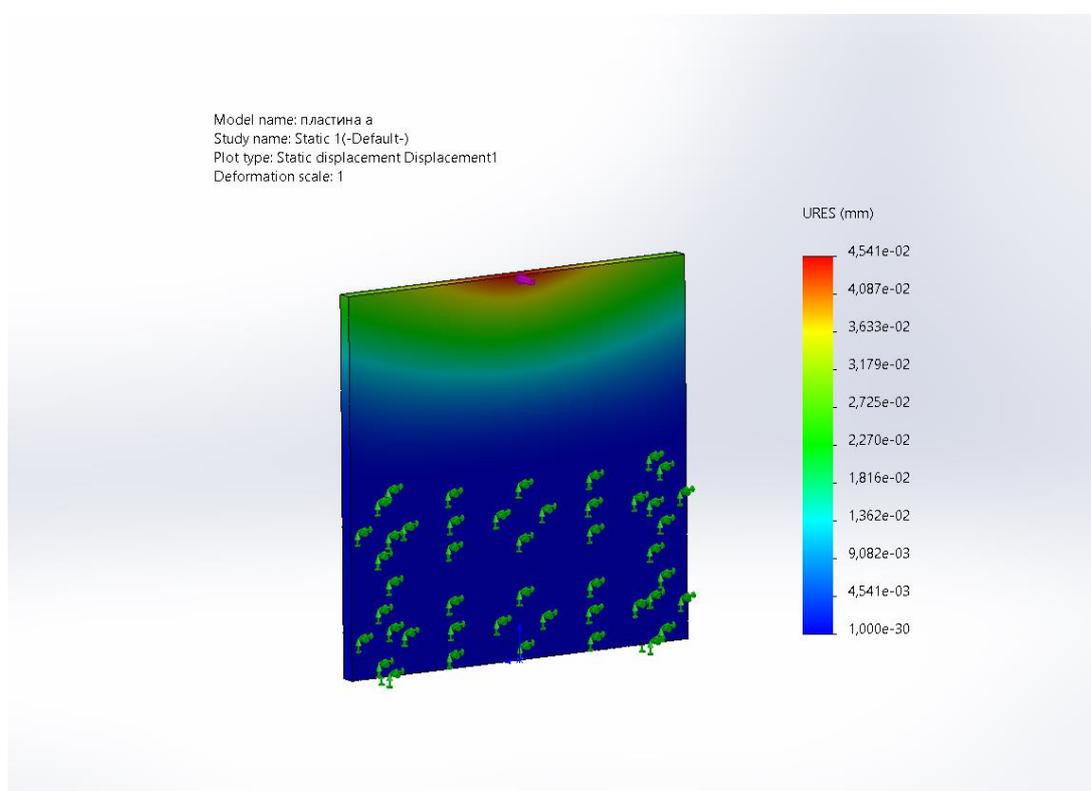


Рисунок 1.30 – Деформация при толщине пластины 4мм, в точке Т3.

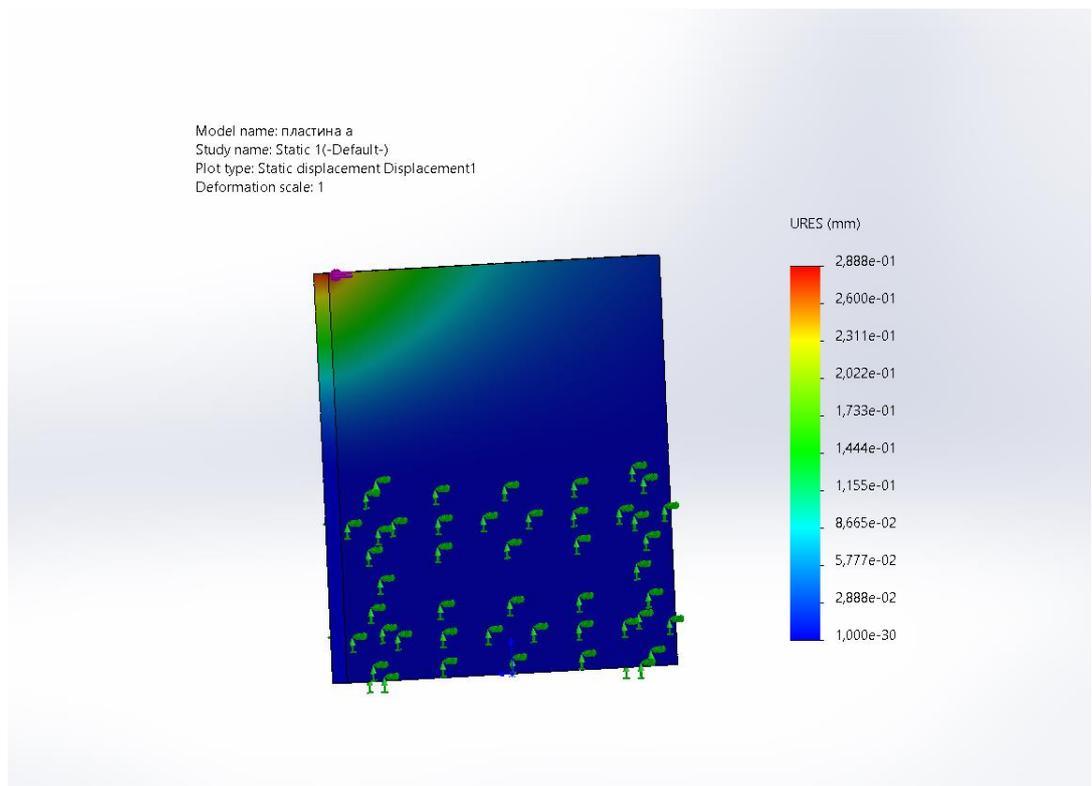


Рисунок 1.31 – Деформация при толщине пластины 6мм, в точке T1.

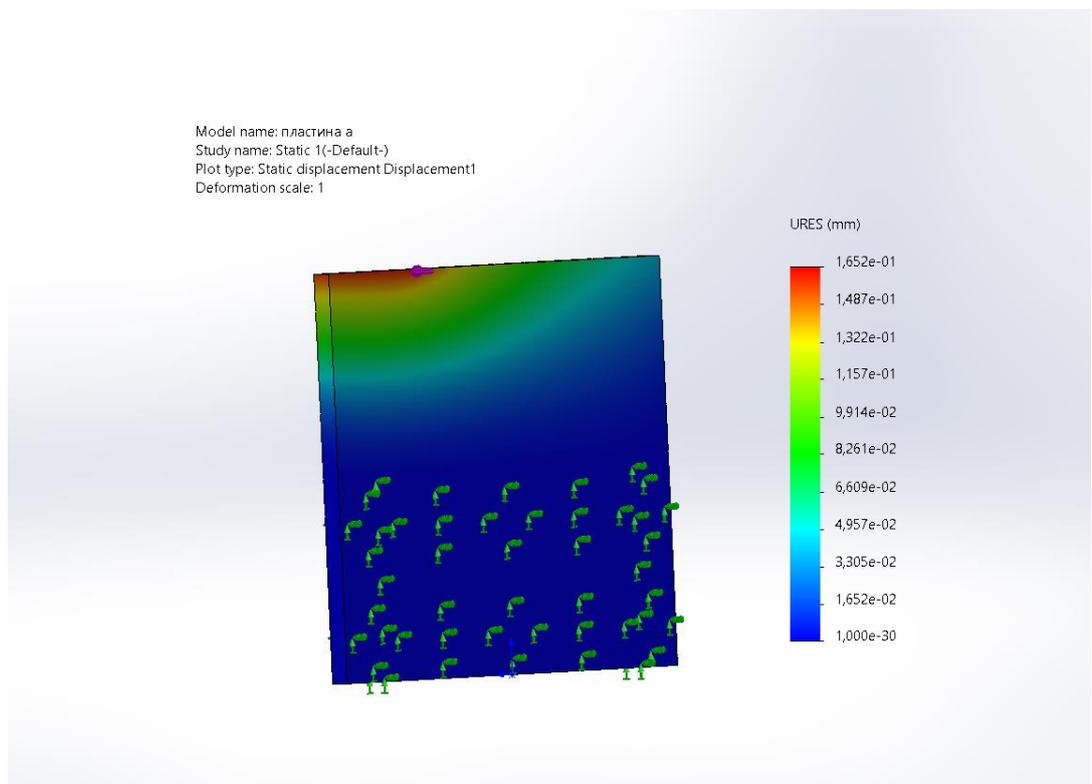


Рисунок 1.32 – Деформация при толщине пластины 6мм, в точке T2.

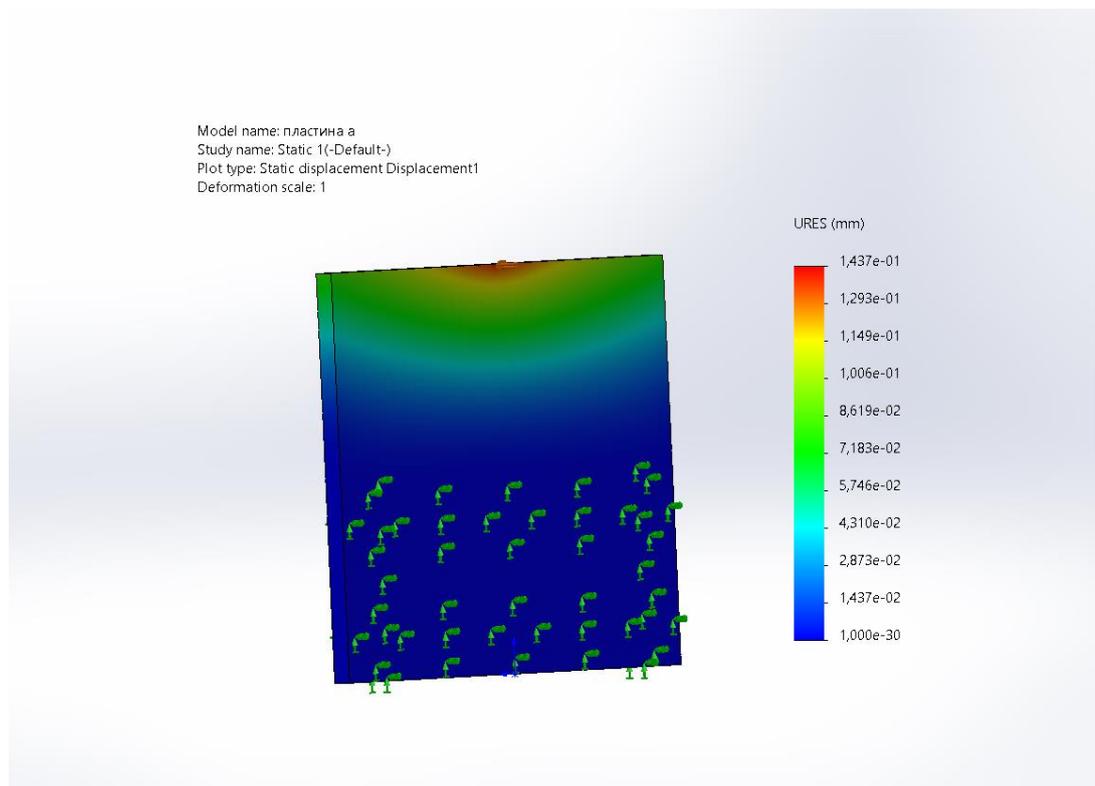


Рисунок 1.33 – Деформация при толщине пластины 6мм, в точке Т3.

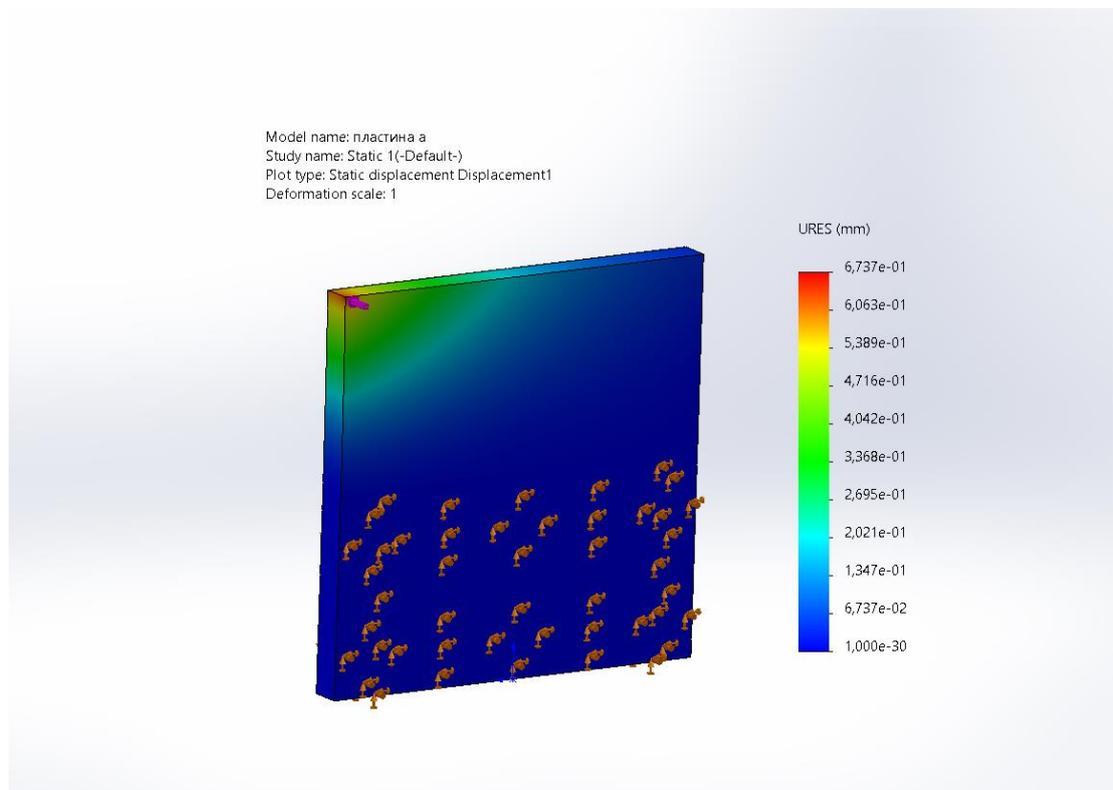


Рисунок 1.34 – Деформация при толщине пластины 8мм, в точке Т1.

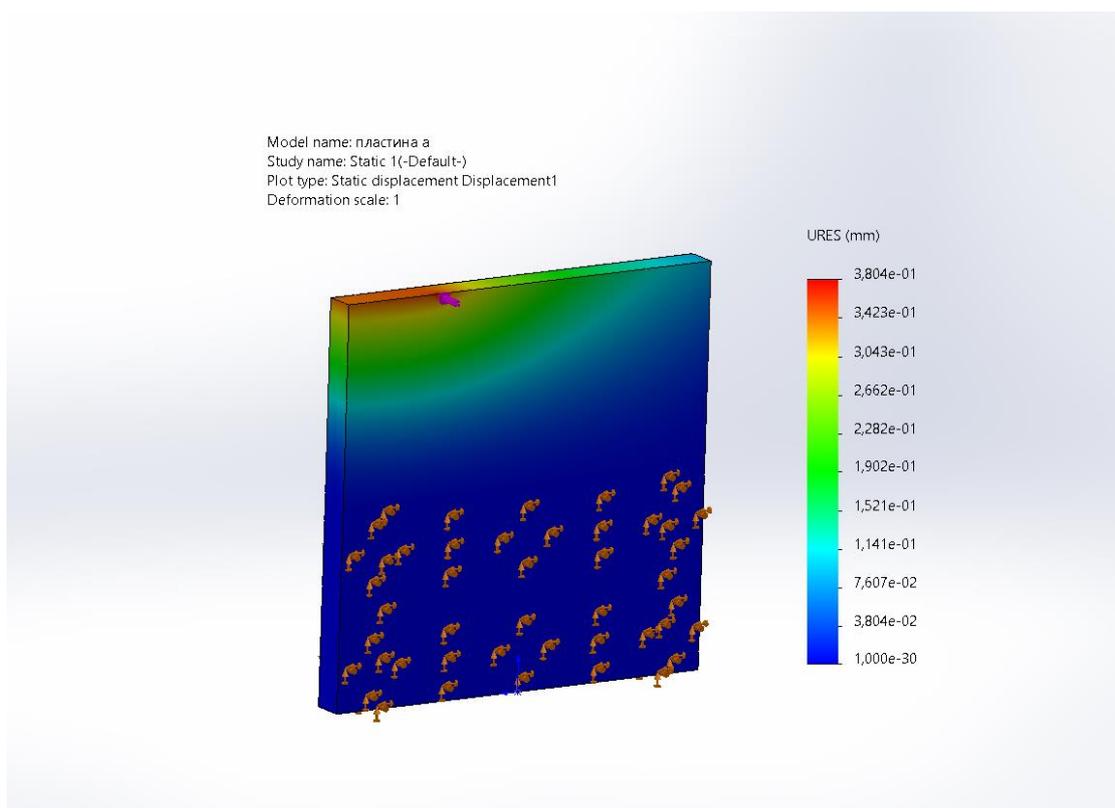


Рисунок 1.35 – Деформация при толщине пластины 8мм, в точке Т2.

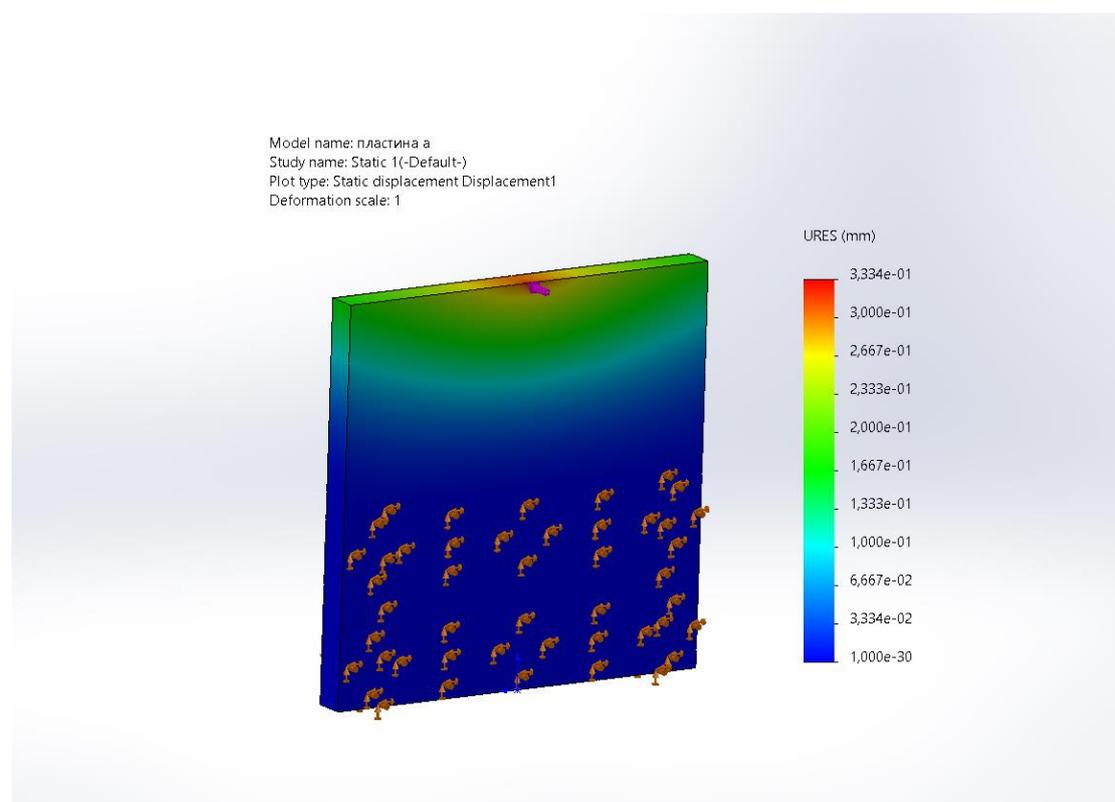


Рисунок 1.36 – Деформация при толщине пластины 8мм, в точке Т3.

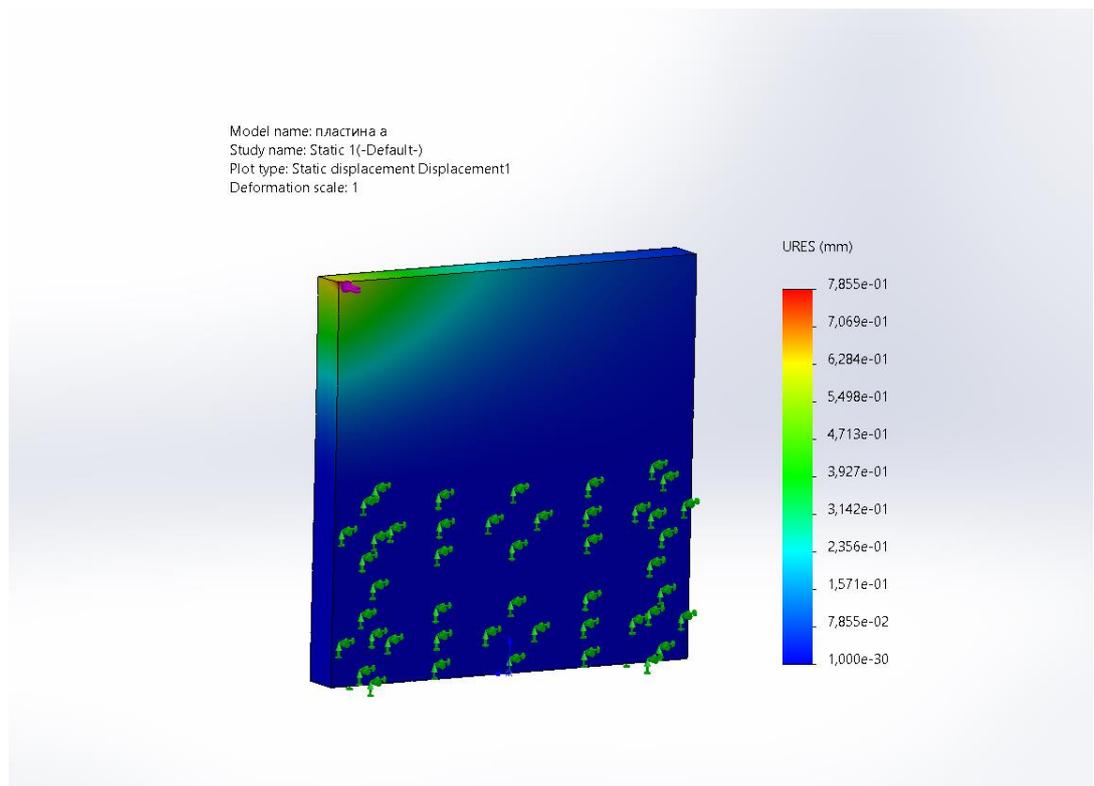


Рисунок 1.37 – Деформация при толщине пластины 10мм, в точке T1.

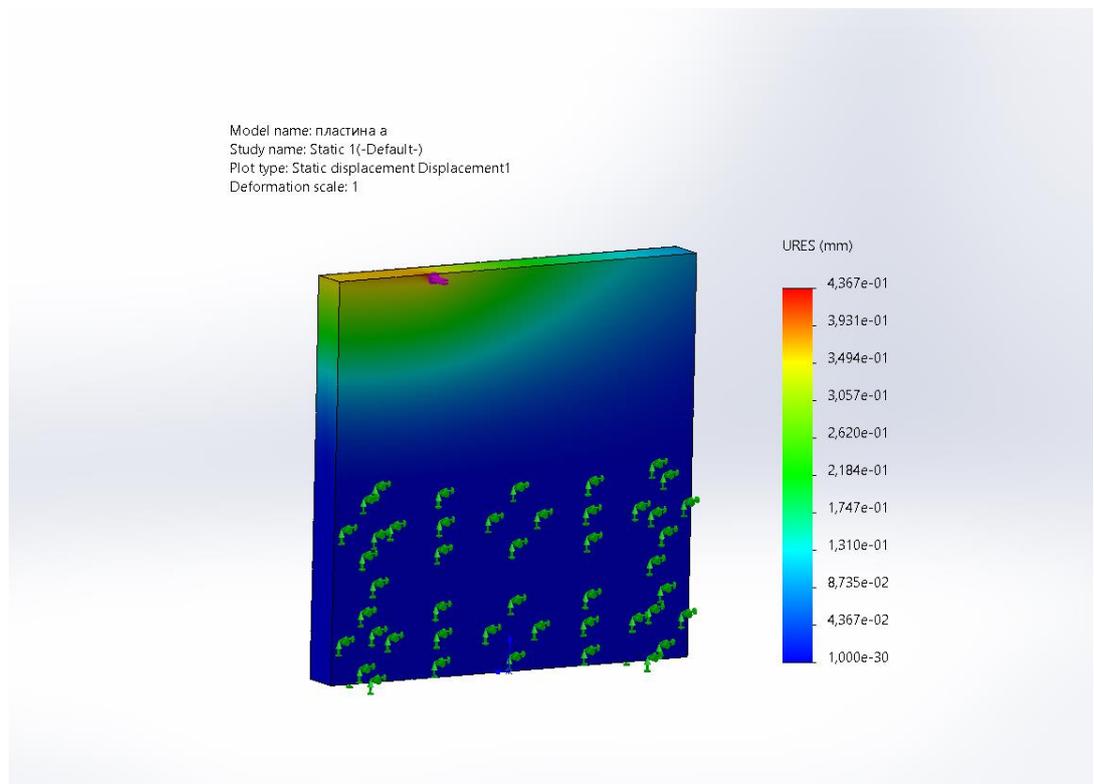


Рисунок 1.38 – Деформация при толщине пластины 10мм, в точке T2.

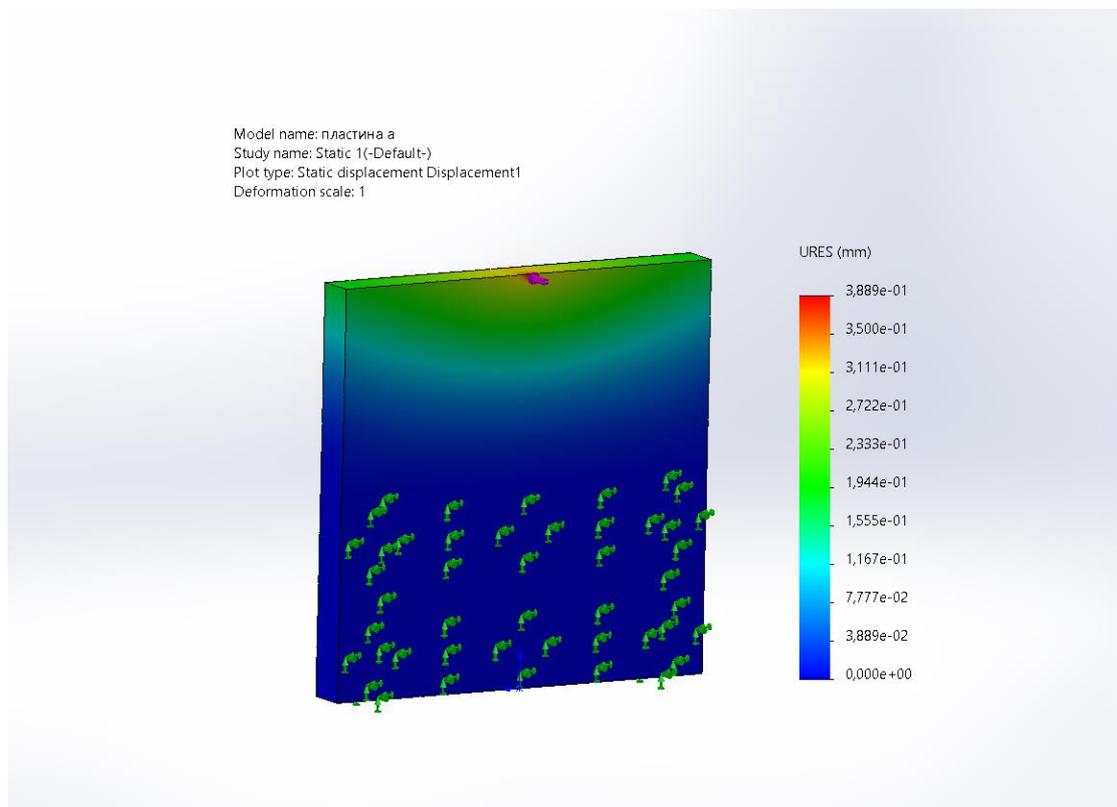


Рисунок 1.39 – Деформация при толщине пластины 10мм, в точке ТЗ.

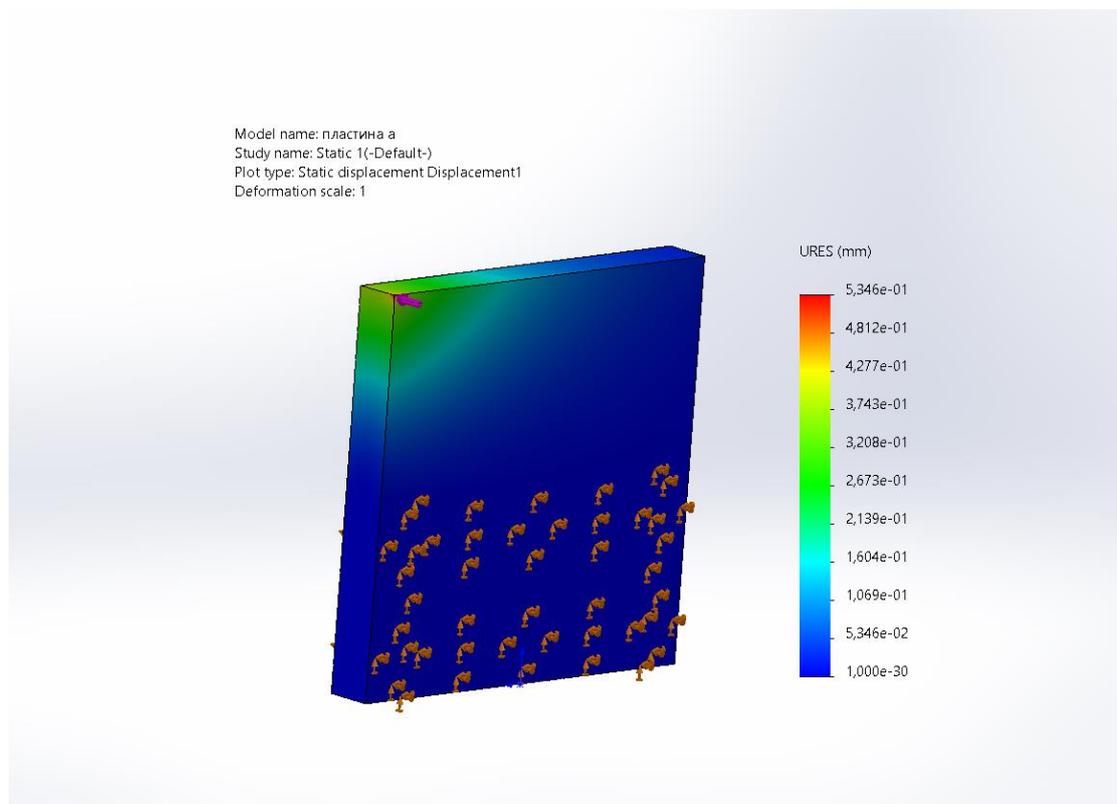


Рисунок 1.40 – Деформация при толщине пластины 12мм, в точке Т1.

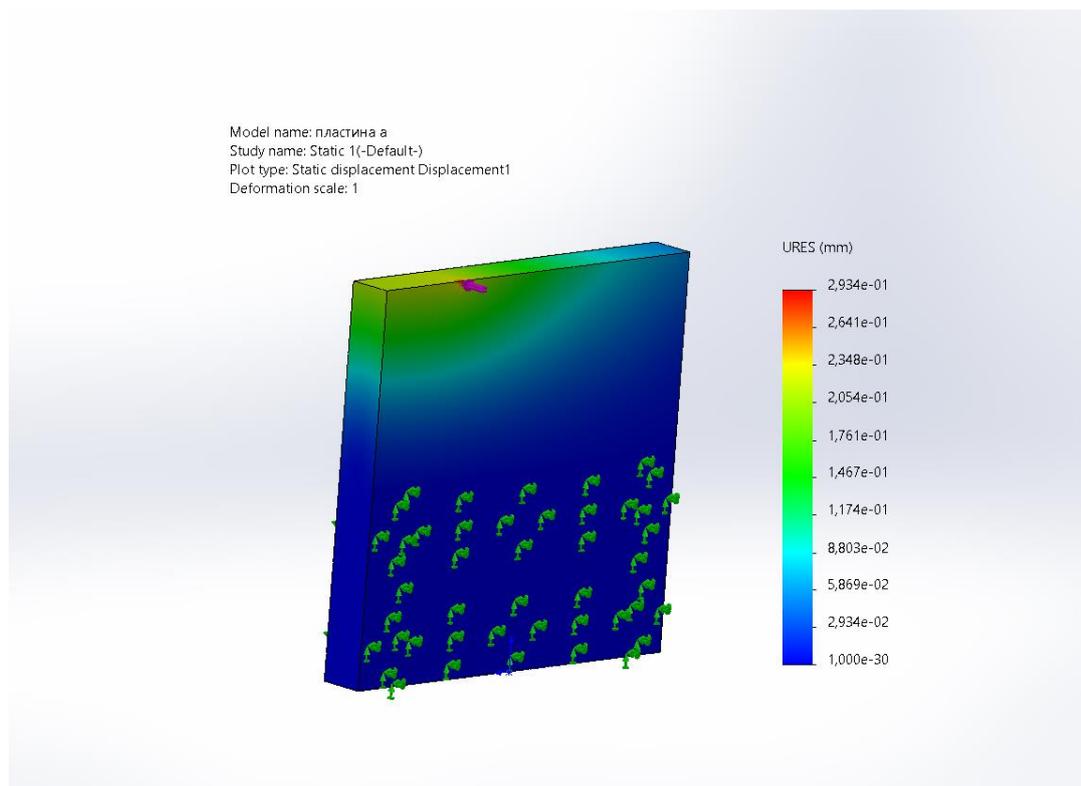


Рисунок 1.41 – Деформация при толщине пластины 12мм, в точке Т2.

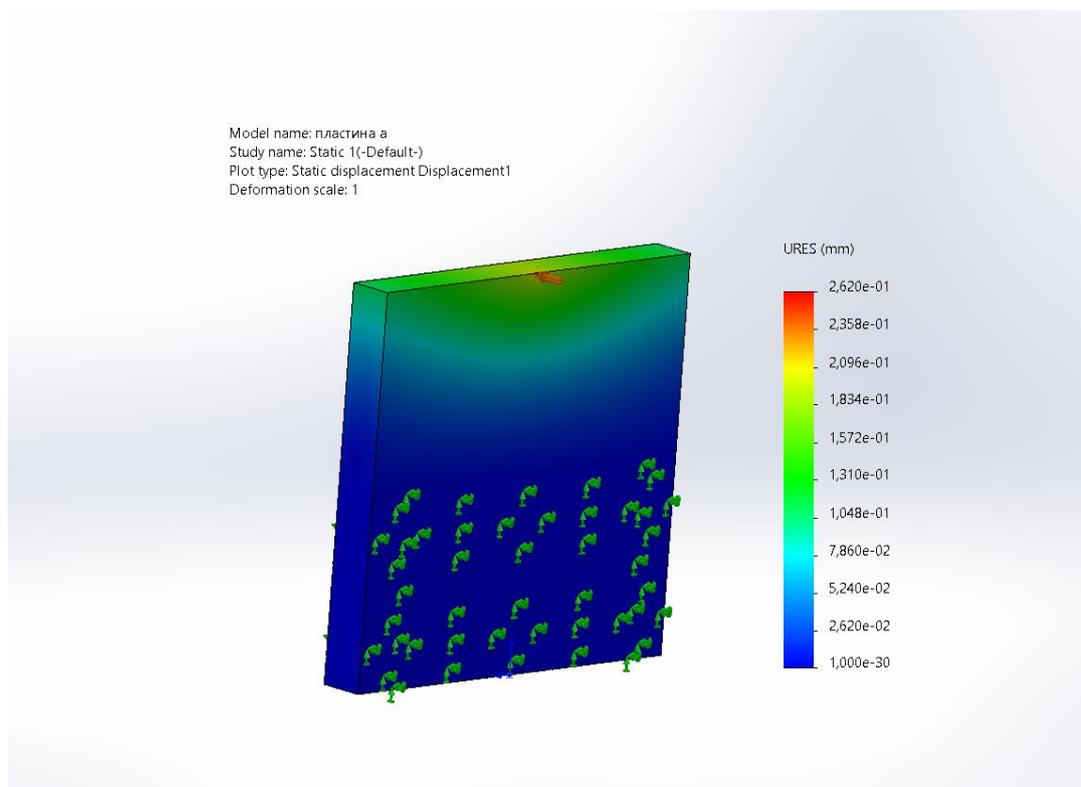


Рисунок 1.42 – Деформация при толщине пластины 12мм, в точке Т3.

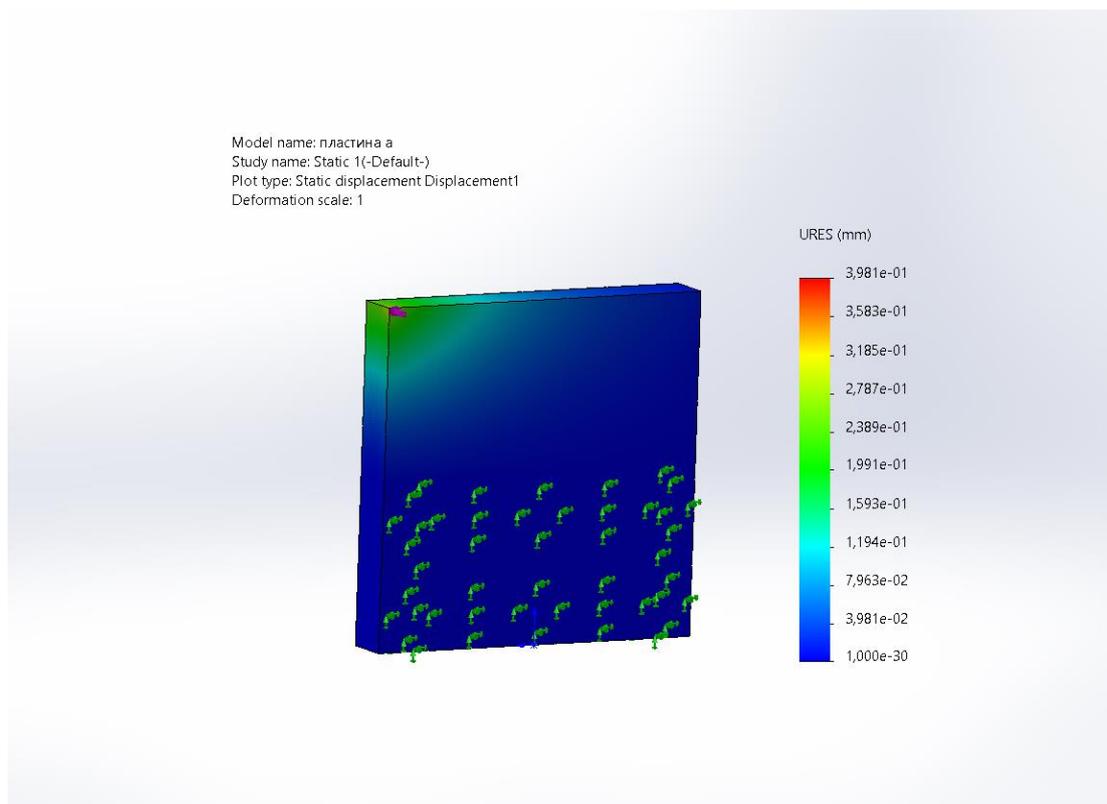


Рисунок 1.43 – Деформация при толщине пластины 14мм, в точке Т1.

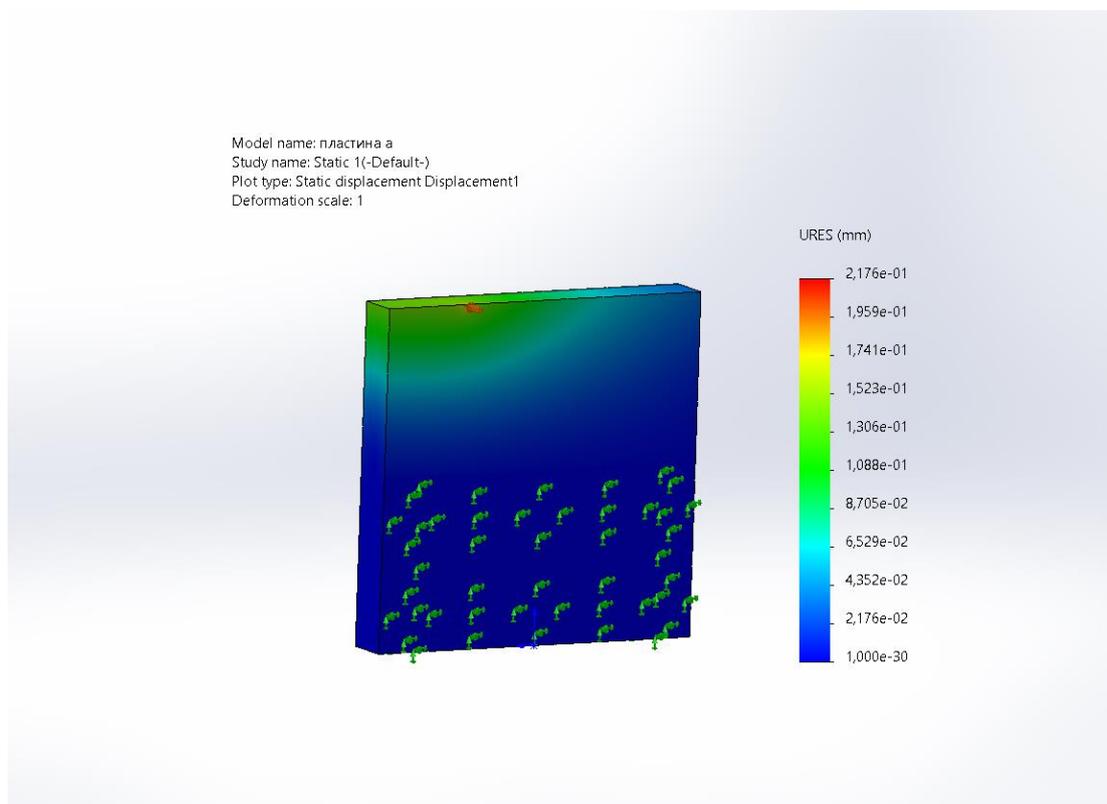


Рисунок 1.44 – Деформация при толщине пластины 14мм, в точке Т2.

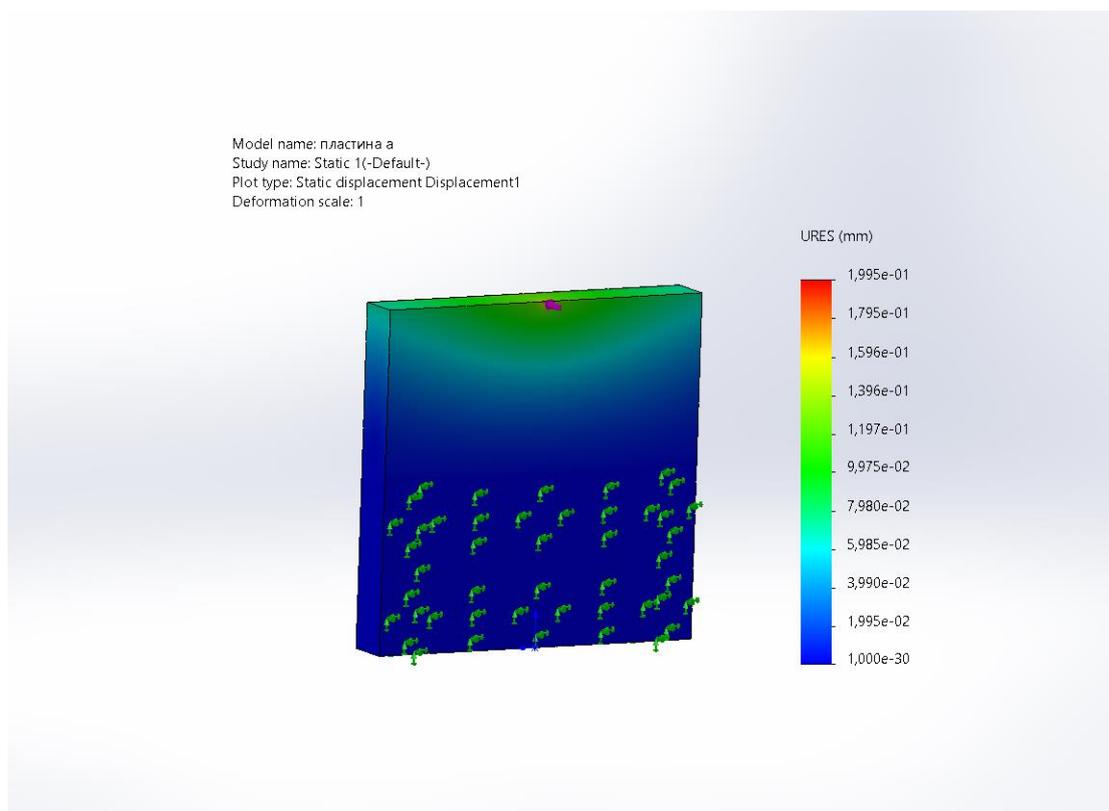


Рисунок 1.45 – Деформация при толщине пластины 14мм, в точке Т3.

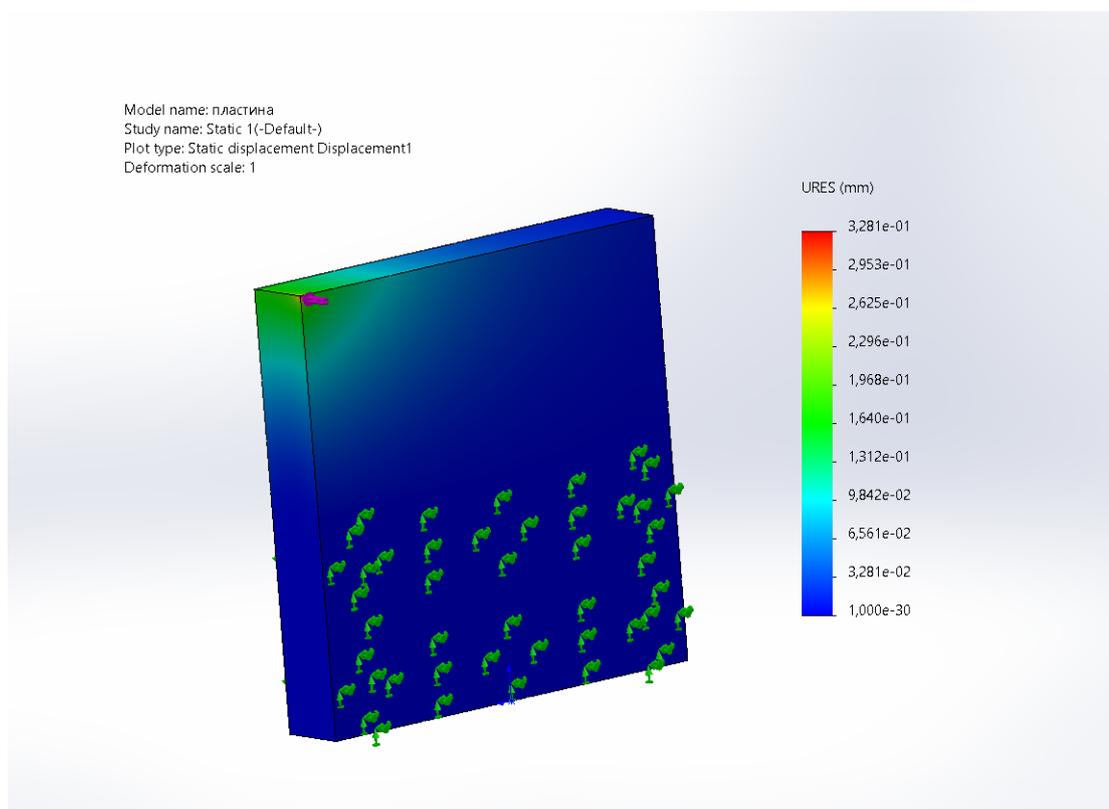


Рисунок 1.46 – Деформация при толщине пластины 16мм, в точке Т1.

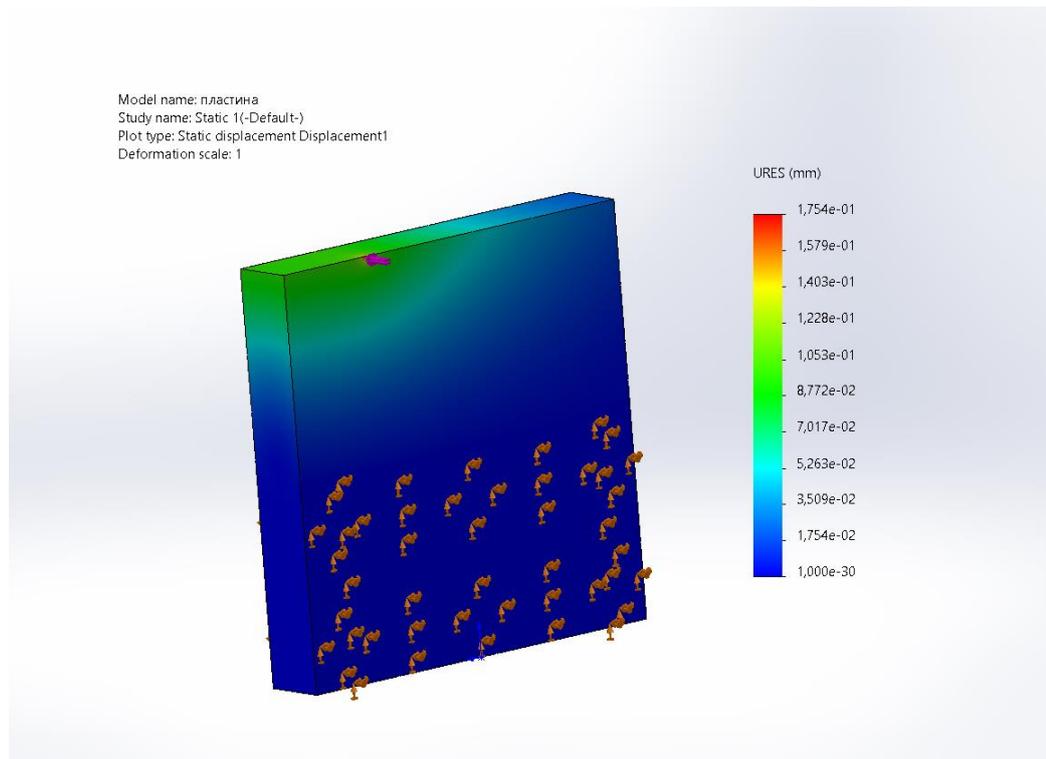


Рисунок 1.47 – Деформация при толщине пластины 16мм, в точке Т2.

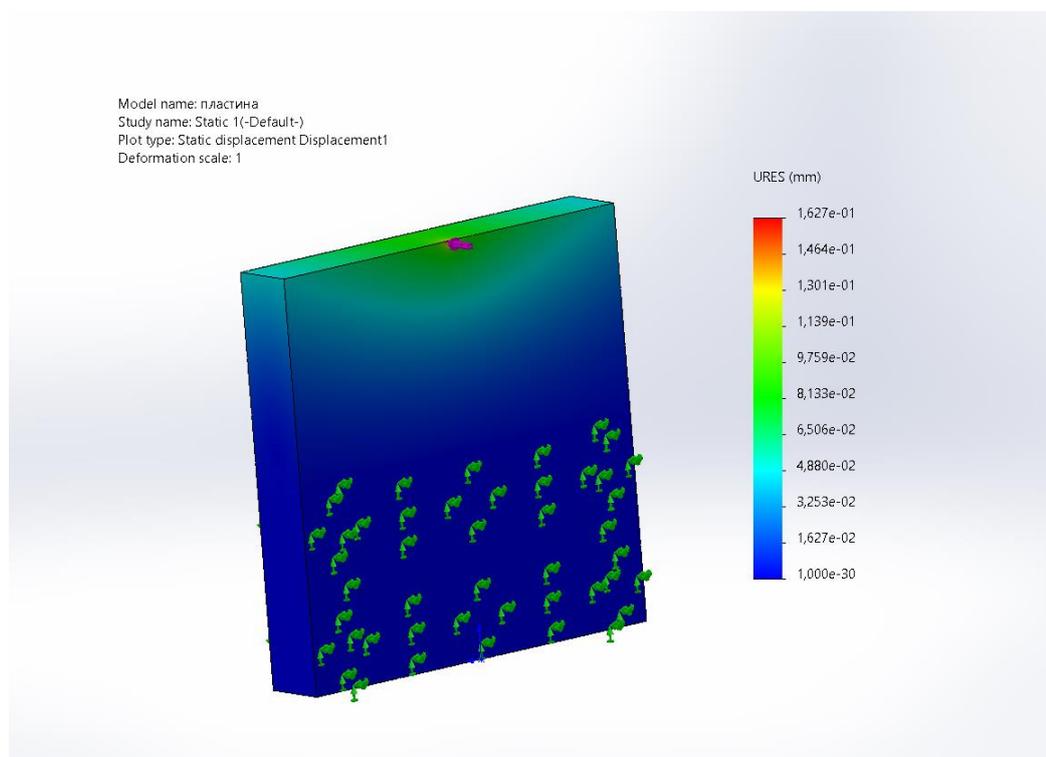


Рисунок 1.48 – Деформация при толщине пластины 16мм, в точке Т3.

В таблице 1.2 приведены результаты исследования деформации разной толщины обрабатываемой детали.

Таблица 1.2 – Деформация пластины при разной толщине

	Деформация, мм				
	Точка Т1	Точка Т2	Точка Т3	Точка Т2.2	Точка Т1.1
Толщина=2мм, сила F=10N	0,06949	0,04134	0,03503	0,04134	0,06949
Толщина=4мм, сила F=100N	0,09088	0,05289	0,04541	0,05289	0,09088
Толщина=6мм, сила F=1000N	0,2888	0,1652	0,1437	0,1652	0,2888
Толщина=8мм, сила F=5000N	0,6737	0,3804	0,3334	0,3804	0,6737
Толщина=10мм, сила F=10000N	0,7855	0,4367	0,3889	0,4367	0,7855
Толщина=12мм, сила F=10000N	0,5346	0,2934	0,2620	0,2934	0,5346
Толщина=14мм, сила F=10000N	0,3981	0,2176	0,1995	0,2176	0,3981
Толщина=16мм,	0,3281	0,1754	0,1627	0,1754	0,3281

сила F=10000N					
---------------	--	--	--	--	--

В данном случае оценивать жёсткость принято коэффициентом жёсткости c отношением силы, прилагаемого к конструкции, к максимальной деформации, вызванные этой силой.

Коэффициент жёсткости c тела является мерой сопротивления упругого тела деформации. Для упругого тела при нагрузке (например, растяжение или сжатие стержня вызванные приложенной силой), жёсткость определяется, как:

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

где F – сила, приложенная к телу,

x – деформация, вызванная силой вдоль направления действия силы.

В таблице 1.3 приведены результаты исследования жёсткости для разной толщины

Таблица 1.3 – Жёсткость пластины при разной толщине

	Жёсткость · 10 ⁶ Н/М				
	Точка Т1	Точка Т2	Точка Т3	Точка Т2.2	Точка Т1.1
Толщина=2mm, сила F=10N	0.14	0.24	0.29	0.24	0.14
Толщина=4mm, сила F=100N	1. 10	1. 89	2. 20	1. 89	1. 10

Толщина=6mm, сила F=1000N	3.46	6.05	6.96	6.05	3.46
Толщина=8mm, сила F=5000N	7.42	13.14	15.00	13.14	7.42
Толщина=10mm, сила F=10000N	12.73	22.90	25.71	22.90	12.73
Толщина=12mm, сила F=10000N	18.71	34.08	38.17	34.08	18.71
Толщина=14mm, сила F=10000N	25.12	45.96	50.13	45.96	25.12
Толщина=16mm, сила F=10000N	30.48	57.01	61.46	57.01	30.48

7. Обработать данные жёсткости с помощью MATLAB.

Зная жёсткость пластины в разных точках, можно писать программу в форме txt, на рисунке 2.28 показаны входные данные программы, открывать массив с помощью MATLAB, чтобы получить графики жёсткостей.

```

Новый текстовый документ – Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
x=[-50,-25,0,25,50;-50,-25,0,25,50;-50,-25,0,25,50;-50,-25,0,25,50;-50,-25,0,25,50;-
50,-25,0,25,50;-50,-25,0,25,50;-50,-25,0,25,50];
s=
[2,2,2,2,2;4,4,4,4,4;6,6,6,6,6;8,8,8,8,8;10,10,10,10,10;12,12,12,12,12;14,14,14,14,14;1
6,16,16,16,16];
c=[
143905.60,241896.47,285469.60,241896.47,143905.60;1100352.11,1890716.58,22021
58.11,1890716.58,1100352.11;3462603.88,6053268.77,6958942.24,6053268.77,34626
03.88;7421701.05,13144058.88,14997000.60,13144058.88,7421701.05;12730744.75,
22899015.34,25713551.04,22899015.34,12730744.75;18705574.26,34083162.92,3816
7938.93,34083162.92,18705574.26;25119316.75,45955882.35,50125313.28,45955882
.35,25119316.75;30478512.65,57012542.76,61462814.99,57012542.76,30478512.65];
cftool

```

Рисунок 1.49 – Входные данные программы, x – расстояние точки; s – толщина пластины; c – жёсткость пластины.

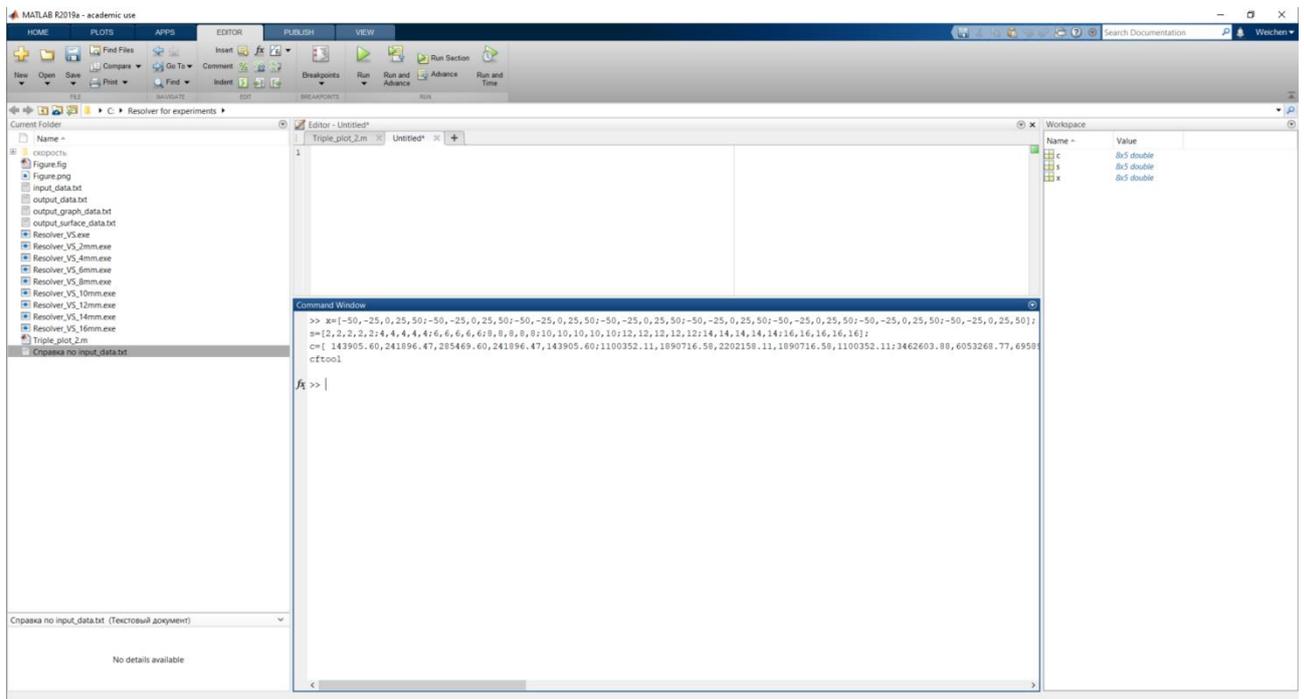


Рисунок 1.50 – Пользовательский интерфейс MATLAB

Затем выбраны параметры оси: x data как x, расстояние точки; y data как s, толщина пластины; z data как c, жёсткость пластины.

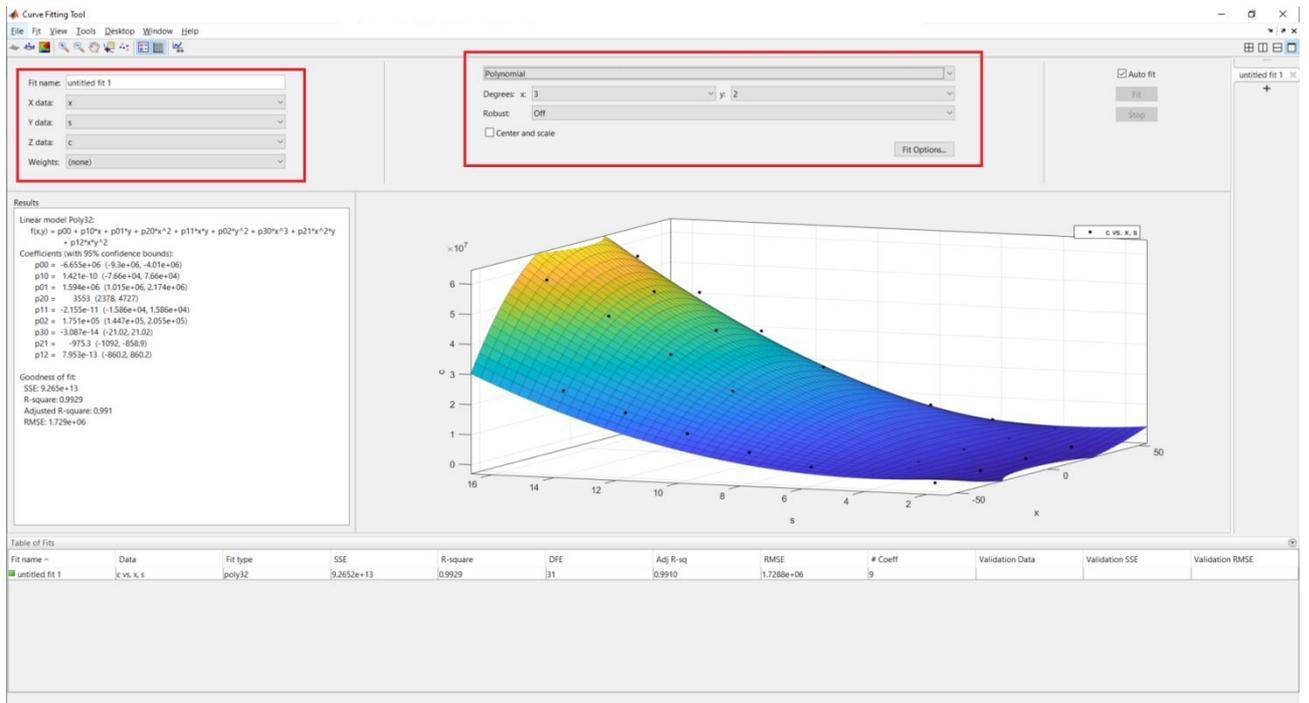


Рисунок 1.51 – Интерфейс выбор параметров MATLAB

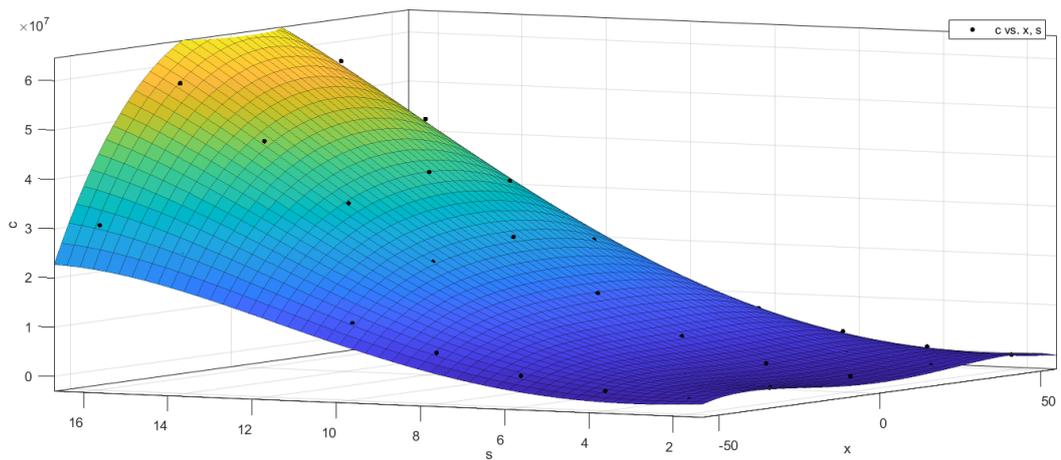


Рисунок 1.52 – График зависимости жёсткости пластины от разных толщин в разных точках.

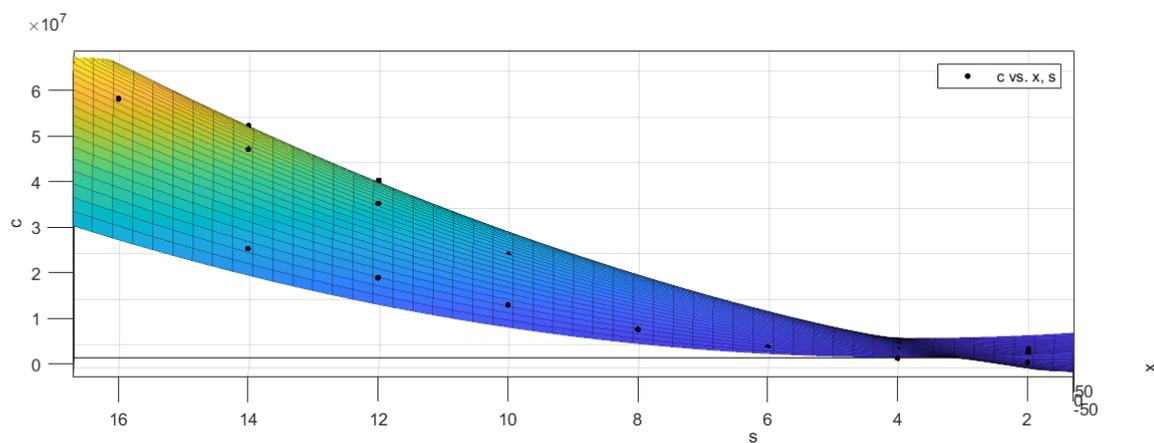


Рисунок 1.53 – График зависимости жёсткости пластины от разных толщин в разных точках, вид спереди.

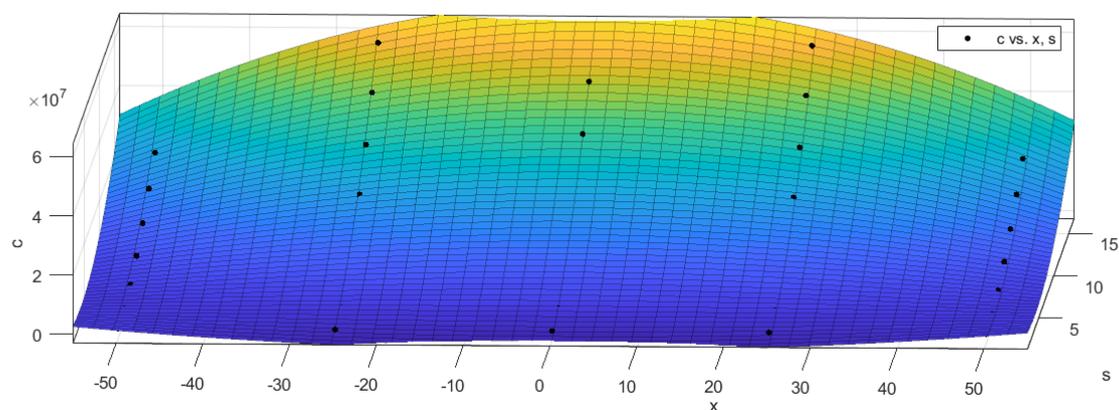


Рисунок 1.54 – график зависимости жёсткости пластины от разных толщин в разных точках, вид сверху.

Анализируя полученные результаты видно, что в разных точках обработки пластины будет разная. Также жёсткость пластины увеличивается с увеличением толщины пластины при разных силах. Увеличение толщины пластины составляет равномерный шаг в 2 мм, а увеличение жесткости не является простым линейным увеличением. Начиная с 6 мм, увеличение жесткости внезапно увеличивается.

1.4 Исследование математической модели процесса обработки

Для управления режимами обработки в реальном времени нужно знать параметры системы в ходе текущего времени. В данной системе жёсткость не линейна и в зависимости от продолжительности времени силы действующие на деталь перемены 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 лопасти (детали) относительно начального положения.

Для математического моделирования процесса обработки лопатки турбин в начале нужно:

подобрать материал;

подобрать фрезу;

режимы резания.

Подбор параметров обработки

Режимы резания для Стали 45 были подобраны опираясь на источники [37, 38, 39, 40, 41, 42].

Для исследования влияния механической обработки используют по режиму резания: $V = 5 - 400$ м/мин, $s = 0.05 - 0.2$ мм/об. Глубина резания $t = 1 - 1.3$ мм. В качестве режущего инструмента была подобрана концевая фреза с

круглыми сменными многогранными твердосплавными пластинами RF01-T.

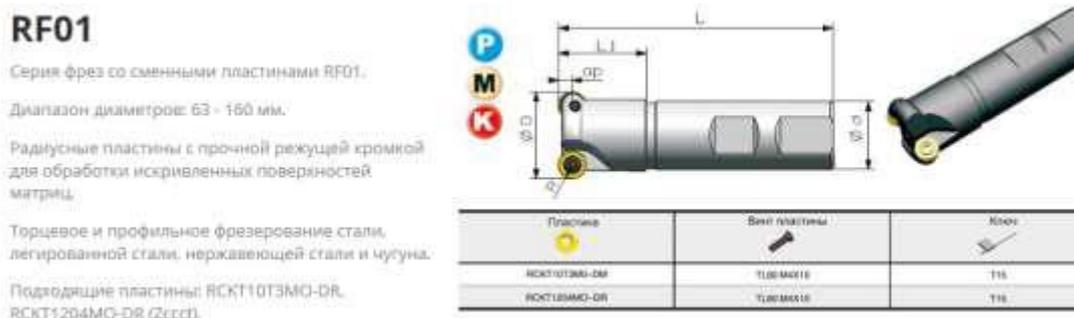


Рисунок 1.55 – Концевая фреза с круглыми сменными многогранными твердосплавными пластинами.

1.5 Считывание данных с помощью MATLAB

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

Результат расчёта выводится в формате «txt» массивом чисел из четырнадцати столбцов и одного миллиона строк. Для анализа и обработки полученных данных нужно использовать дополнительную программу. С помощью программы MATLAB массив значений распознается как массив с заданными позициями, следовательно, можно разделить массив на столбики. Значение каждого столбика приведено в таблице 1.4.

Для расчёта технологических параметров во времени использовалась программа на языке Си с доработкой под данную тему и выбранную модель. Результат расчёта выводится в формате «txt» массивом чисел из четырнадцати столбцов и одного миллиона строк. Вычисления проводятся для интервала

времени от нуля до одной секунды обработки, с периодом времени в одну миллионную секунды. Начальные данные приведены в таблице.

Таблица 1.4 – Заданные параметры

Параметр	Заданные параметры в программе	Единицы измерения
Время расчёта	$t_{max} = 4.7$	с
Интервал периода времени	$dt = 0.000001$	с
Угловая скорость вращения фрезы	$\omega_{cutter} = 444$	Рад/с
Подача на зуб	$s_z = 0.1$	мм
Диаметр фрезы	$cutter_diameter = 0.03$	мм
Глубина резания	$depth_of_cut = 0.001$	м
Длина отрезков описывающих контур детали	$dl = 0.0001$	м
Число зубьев фрезы по периметру инструмента	$number_of_cutting_line = 3$	шт
Число зубьев в ряду	$cutting_tooth_in_line = 1$	

Масса инструмента	$mass_1 = 524$	g
Масса опоры детали	$mass_3 = 890$	g
Вязкость опоры инструмента	$alpha_{01_x} = 1000$	m^2/c
Вязкость опоры инструмента	$alpha_{01_y} = 1000$	m^2/c
Вязкость материала детали	$alpha_{12_x} = 1000$	m^2/c
Вязкость материала детали	$alpha_{12_y} = 1000$	m^2/c
Вязкость опоры детали	$alpha_{30_x} = 1000$	m^2/c
Вязкость опоры детали	$alpha_{30_y} = 1000$	m^2/c
Жёсткость опоры инструмента	$ridigity_{01_x} = 70000000$	Н/м
Жёсткость опоры инструмента	$ridigity_{01_y} = 70000000$	Н/м
Жёсткость опоры детали	$ridigity_{30_x} = 70000000$	Н/м
Жёсткость опоры	$ridigity_{30_y} = 70000000$	Н/м

детали		
Модуль Юнга	$young_modulus = 2 \cdot 10^{11}$	
Тип зуба	$type_of_tooth = R$	круг
Размеры 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 обработки начальных данных, программа генерирует результаты массивом чисел.

1.6 Анализ поведения технологических характеристик во времени при разной частоте резания

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

Во время обработки пластины она совершает колебания собственные и вынужденные. Так как деталь тонкостенная, колебания значительные и существенно влияют на качество обработки. Когда резец врезается в деталь

происходят одни колебания, после выхода резца другие и при подходе резца в следующий раз деталь может значительно отклоняться от начальной, нулевой точки в которую подходит резец. Поэтому для нахождения частоты колебаний следует подобрать подходящую разную частоту резания, для этого нужно менять угловую скорость фрезы ω_{cutter} [рад/с], чтобы скорость резания изменялась в диапазоне от 5 м/мин до 400 м/мин с шагом 40 м/мин.

Для удобства построения графиков за переменную была взята скорость резания в м/мин, в приложении Б приведен перевод из скорости резания в частоту резания (Гц) и угловую скорость фрезы (Рад/с). Чтобы облегчить наблюдение за влиянием различных частот на различные технические параметры во время обработки, представлена частота резания γ , были построены ниже следующие графики.

Частота резания γ (Гц) определяется, как:

$$\gamma = \frac{\omega}{2\pi} \cdot n$$

где ω –угловая скорость

n – число зубев фрезы.

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

Важным параметром наблюдения является толщина стружки, снимаемая в ходе обработки в зависимости от времени. Так как деталь отклоняется при врезании резца в неё, толщина стружки может быть везде разная. Деталь может отклоняться от резца. Нужно подобрать режим, где толщина стружки будет одинаковая на всём этапе обработки и близка к заданной. Также будет показан график зависимости высоты профиля от длины.

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

В начале были исследованы графики зависимостей параметров от времени со скоростью фрезы в диапазоне от 5 м/мин до 400 м/мин с шагом в 40 м/мин. Далее также подбирая наиболее удачный участок из представленных теперь графиков, исследовался участок, но уже с меньшим шагом.

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

Все графики зависимости рассматриваемых параметров для скорости резания 5 м/мин приведены ниже.

На рисунке ниже представлен график при скорости резания 5 м/мин как показано на рисунке ниже. График зависимости перемещения детали относительно нулевой точки в зависимости от времени, ниже располагается график зависимости перемещения резца от времени.

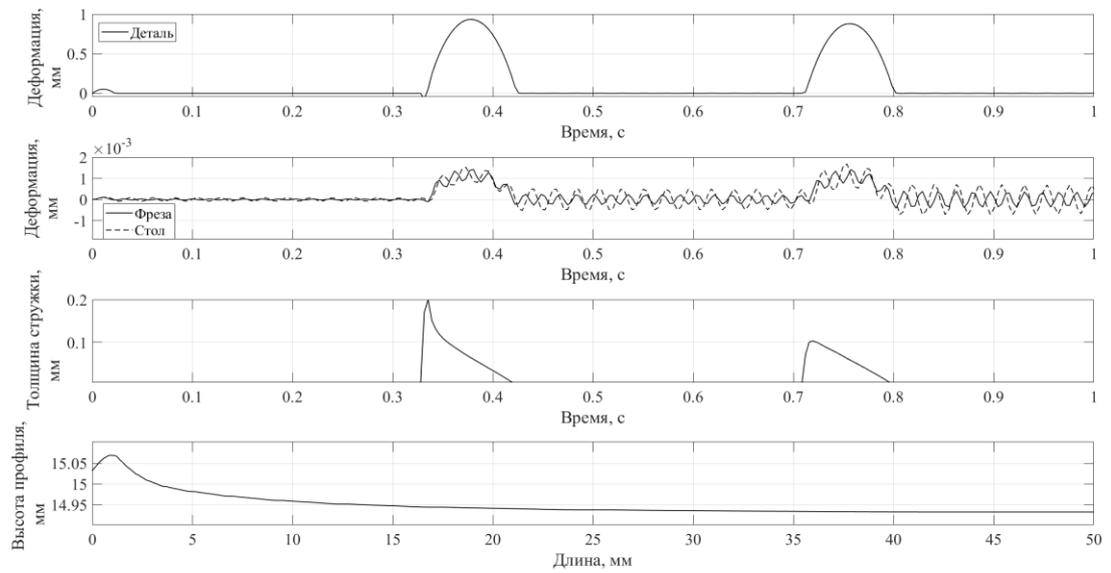


Рисунок 1.56 – График зависимостей технологических параметров с учётом времени и длины при скорости резания 5 м/мин, частоте резания 2.6 Гц.

Все графики зависимости рассматриваемых параметров для скорости резания 125 м/мин приведены на рисунке 1.57.

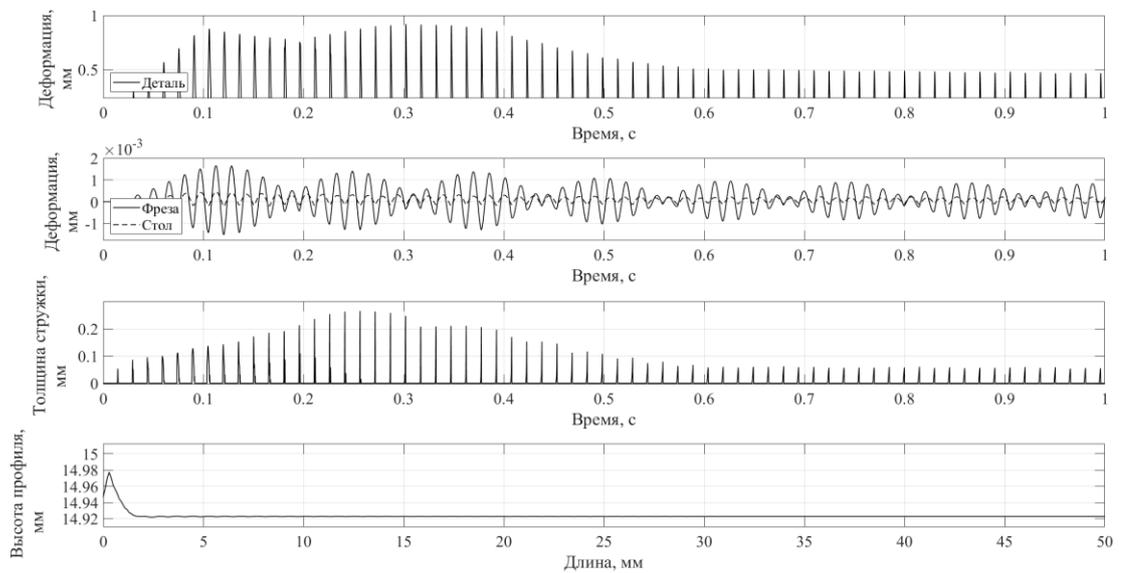


Рисунок 1.57 – График зависимостей технологических параметров с учётом времени и длины при скорости резания 125 м/мин, частоте резания 66.3 Гц.

Все графики зависимости рассматриваемых параметров для скорости резания 245 м/мин приведены на рисунке 1.58.

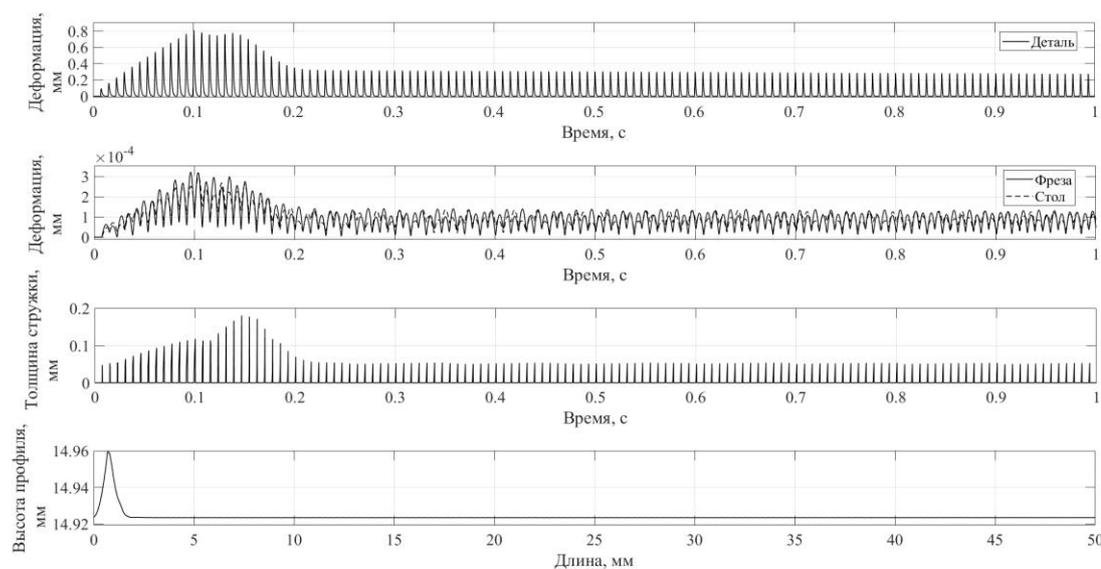


Рисунок 1.58 – График зависимостей технологических параметров с учётом времени и длины при скорости резания 245 м/мин, частоте резания 130 Гц.

Все графики зависимости рассматриваемых параметров для скорости резания 325 м/мин приведены на рисунке 1.59.

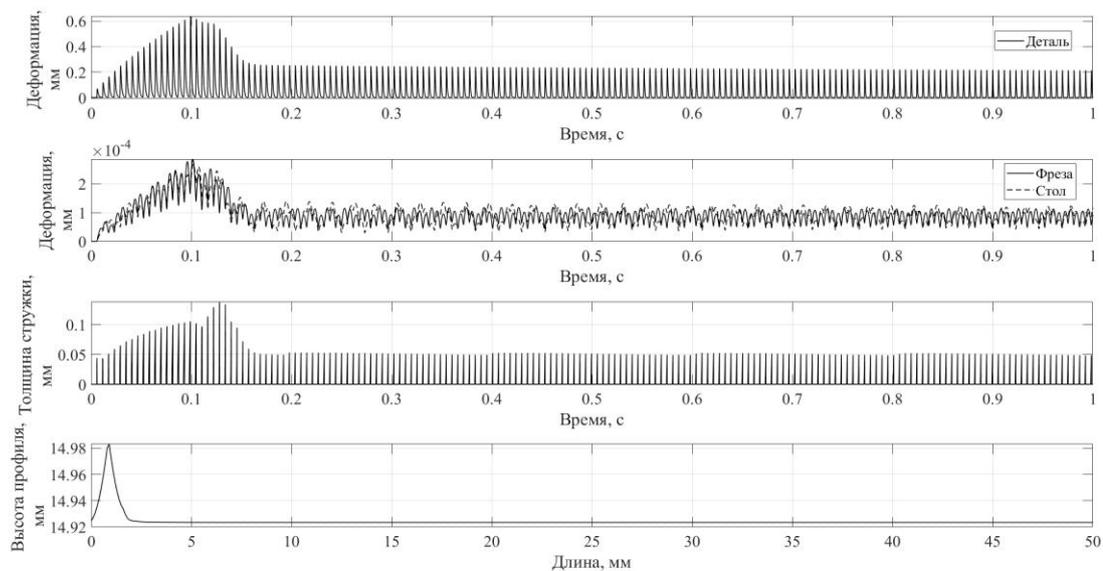


Рисунок 1.59 – График зависимостей технологических параметров с учётом времени и длины при скорости резания 325 м/мин, частоте резания 172.4 Гц.

Все графики зависимости рассматриваемых параметров для скорости резания 400 м/мин приведены на рисунке 1.60.

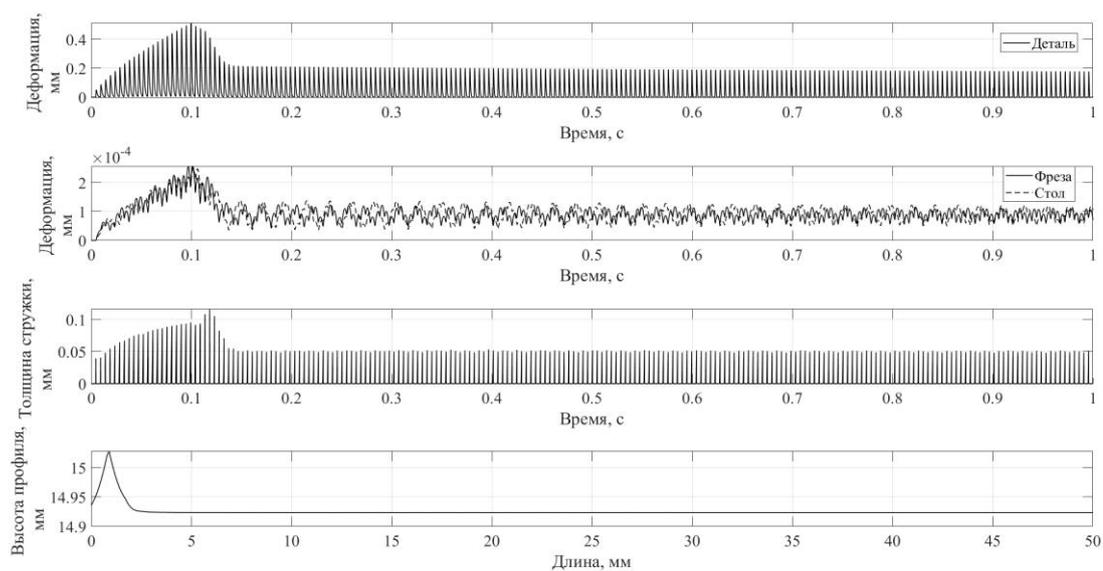


Рисунок 1.60 – График зависимостей технологических параметров с учётом времени и длины при скорости резания 400м/мин, частоте резания 212.2 Гц.

1) График зависимостей амплитуды колебания пластины от частоты резания после выравнивания. Поскольку изображение не может отображаться на одном изображении, разделено на два изображения, показан на рисунке 1.61.

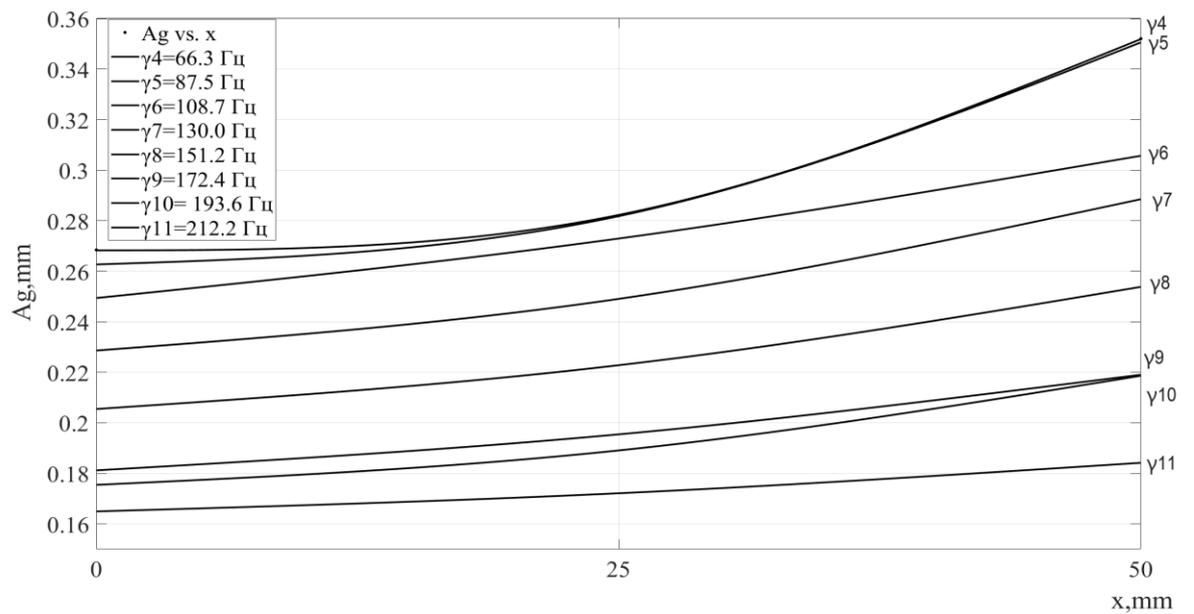
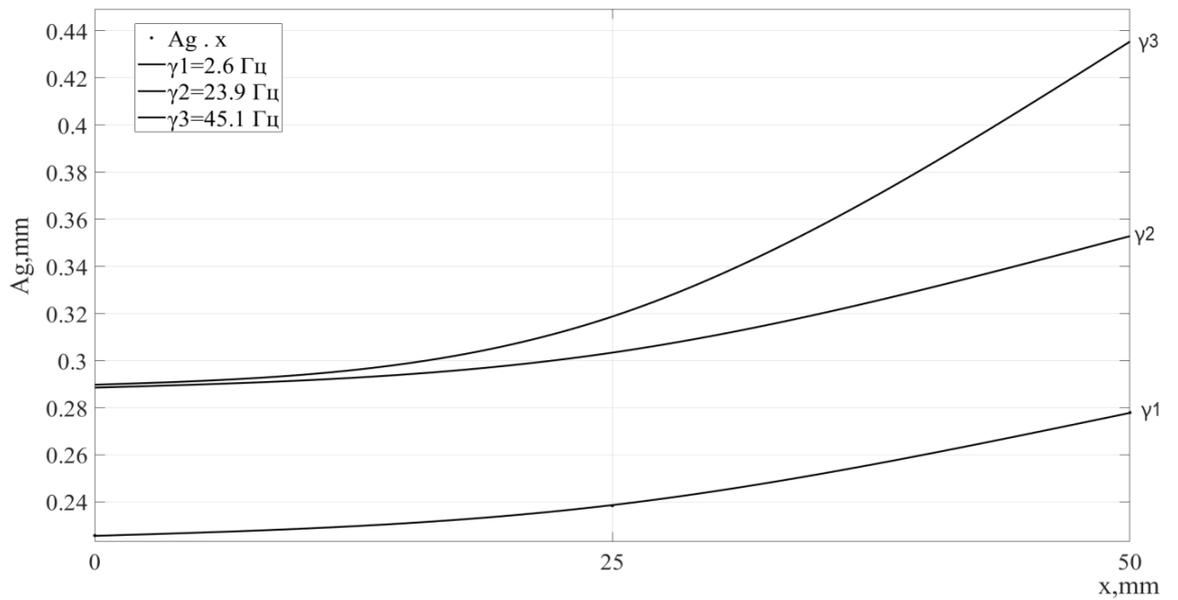


Рисунок 1.61 – График зависимости амплитуды колебаний пластины от заданного параметра.

2) График зависимостей амплитуды колебаний фрезы от частоты резания после выравнивания. Линии зависимости амплитуды колебаний фрезы $\omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}, \omega_{11}$ в основном сосредоточены на одной горизонтальной прямой, показан на рисунке 1.62.

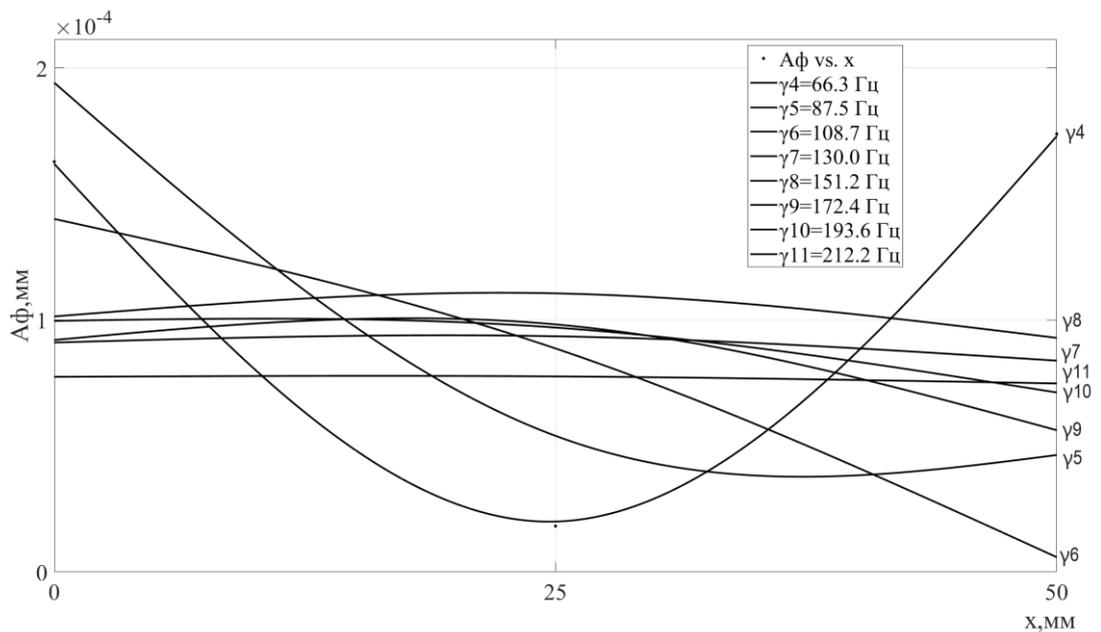
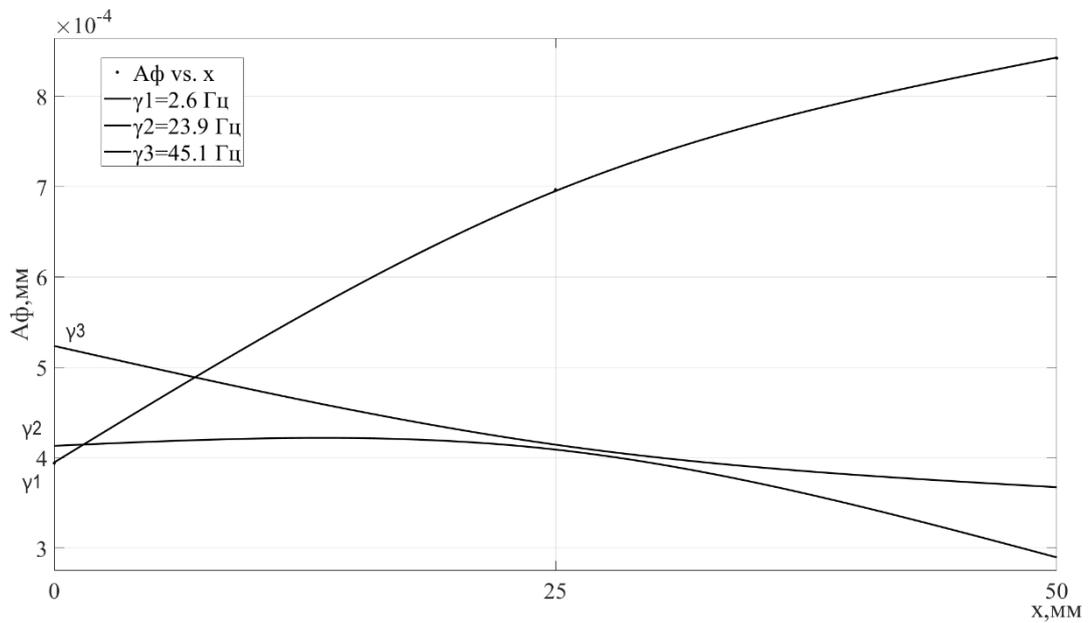


Рисунок 1.62 – График зависимости амплитуды колебания фрезы от заданного параметра.

3) График зависимости амплитуды колебания стола от заданного параметра, показан на рисунке 1.63.

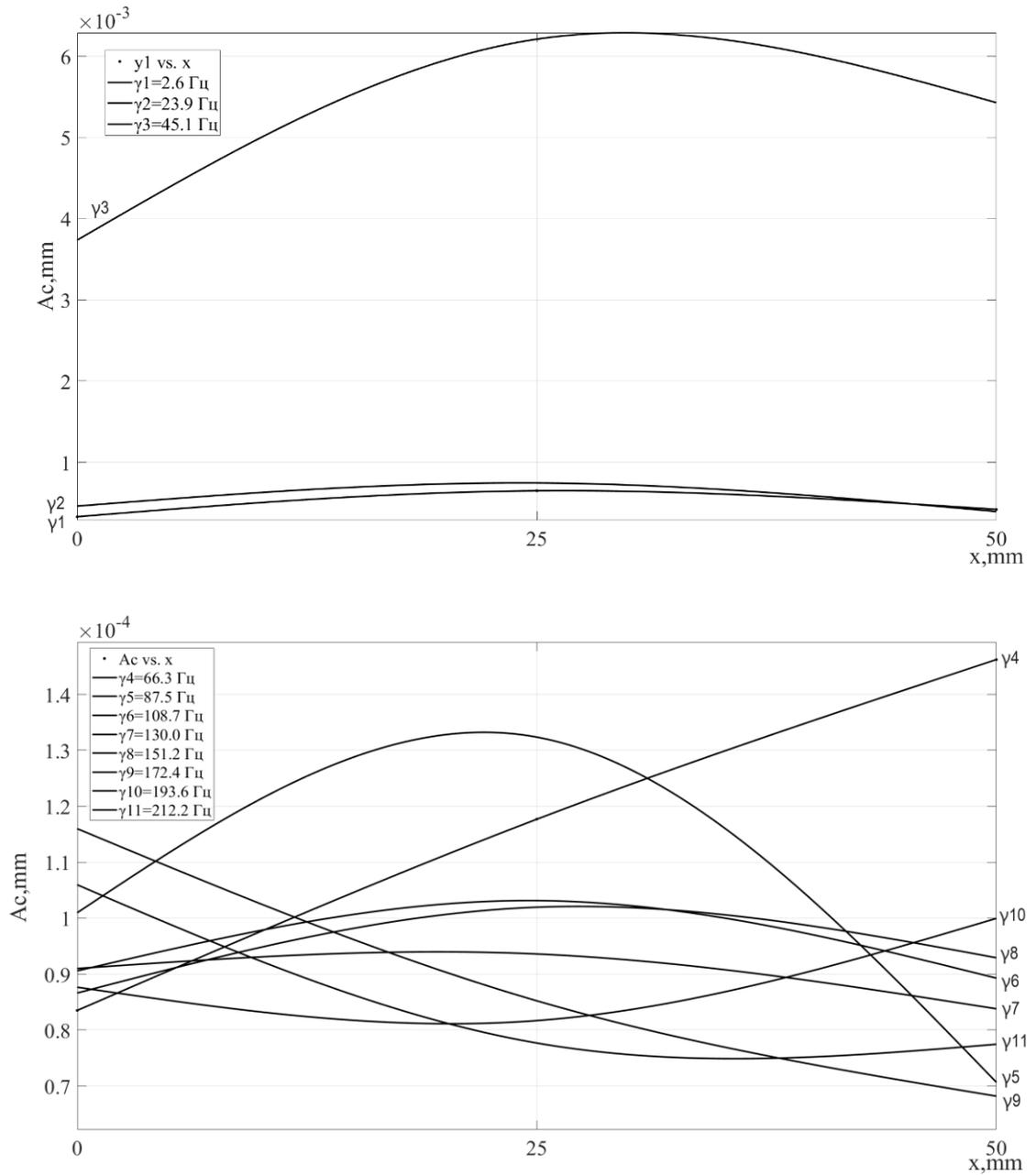


Рисунок 1.63 – График зависимости амплитуды колебания стола от заданного параметра.

4) График зависимости амплитуды колебания стола от заданного параметра, показан на рисунке 1.64.

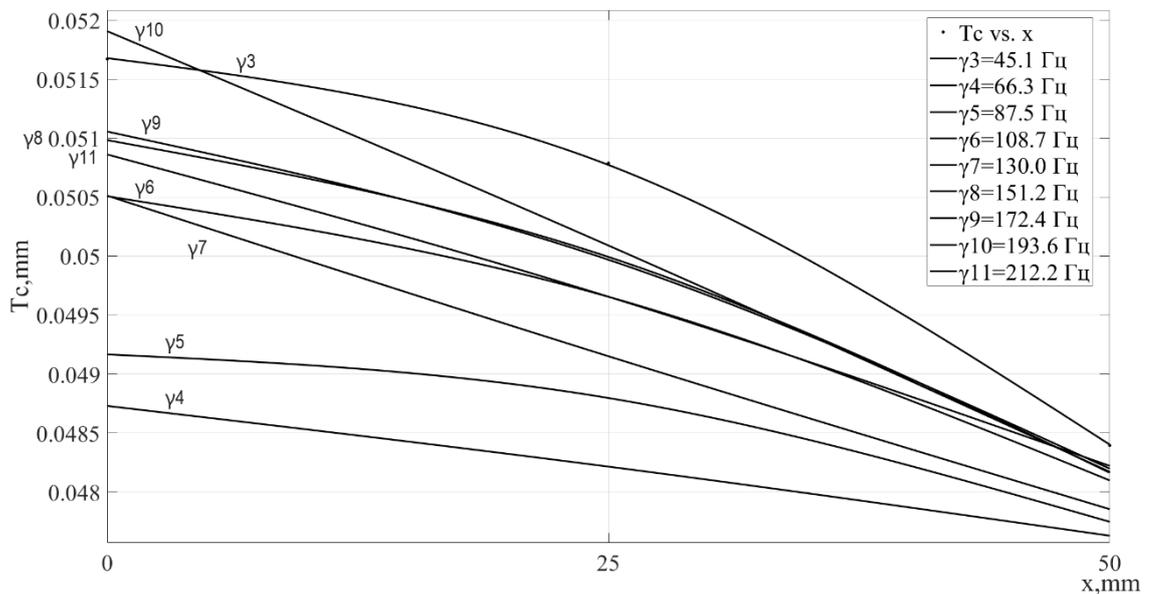
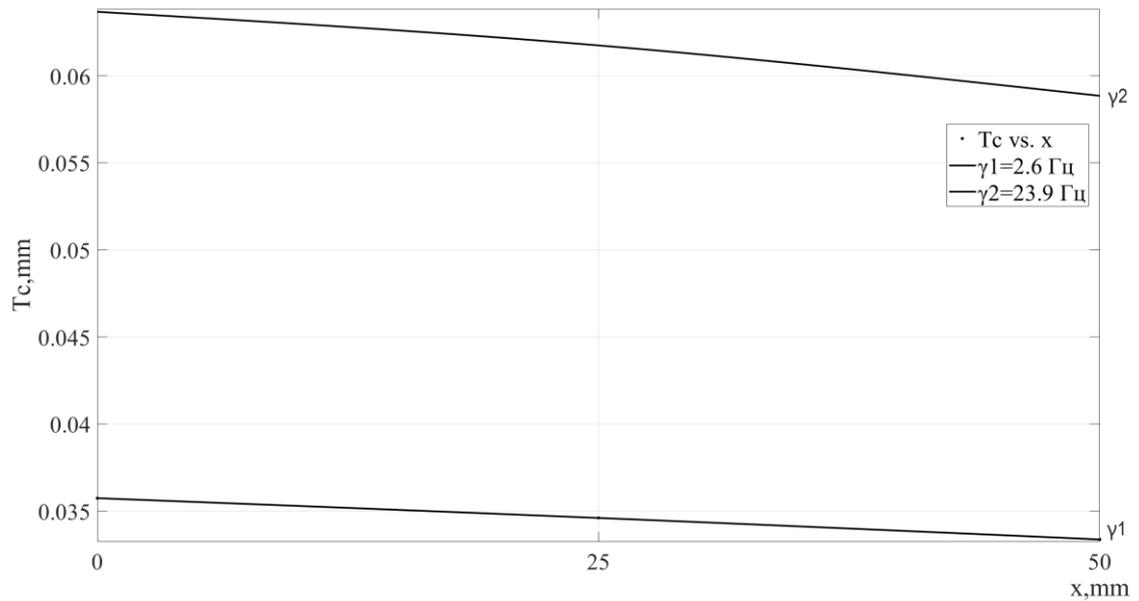


Рисунок 1.64 – График зависимости толщины стружки от заданного параметра.

5) График зависимости отклонения от заданного параметра, показан на рисунке 1.65.

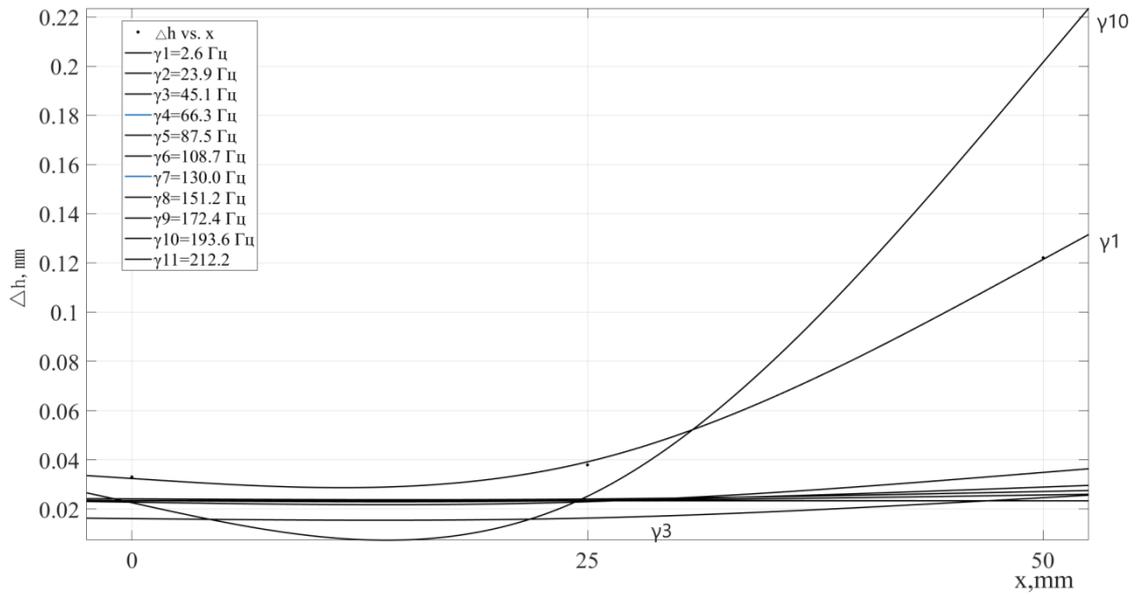


Рисунок 1.65 – График зависимости отклонения от заданного параметра.

Выбраны значения отклонений на 50, 25 и 0 в поперечном сечении, показаны на рисунке 1.66, 1.67, 1.68.

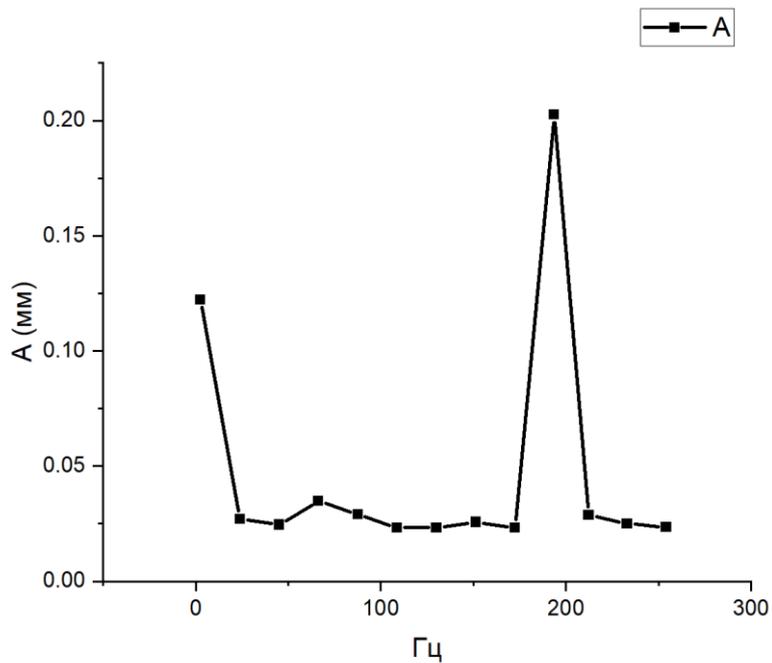


Рисунок 1.66 – График зависимости амплитуды колебания детали от частоты воздействия режущего инструмента в сечении 50 мм.

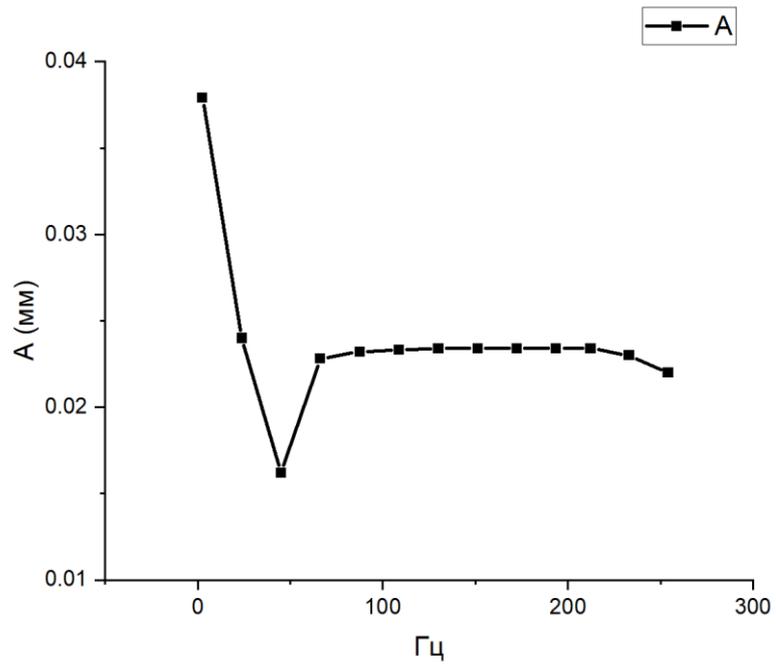


Рисунок 1.67 – График зависимости амплитуды колебаний детали от частоты воздействия режущего инструмента в сечении 25 мм.

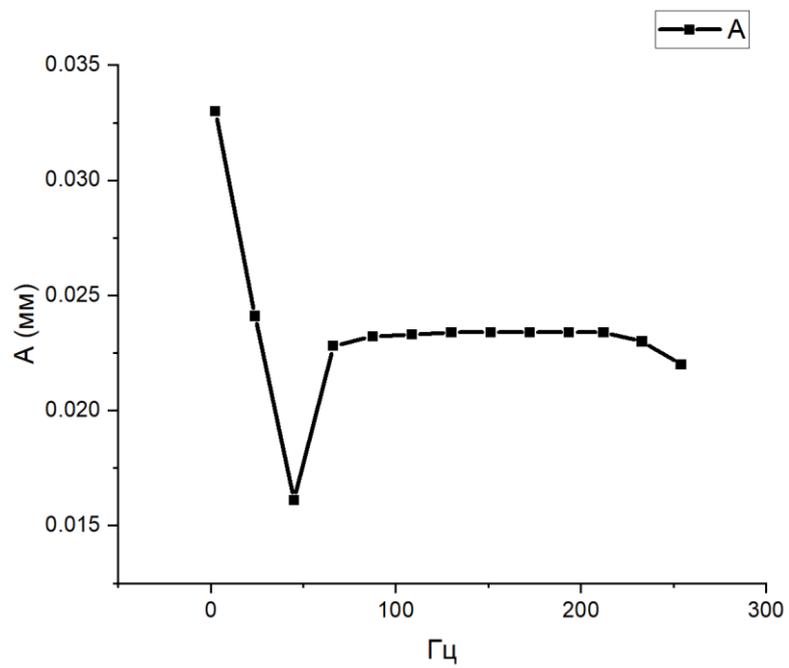


Рисунок 1.68 – График зависимости амплитуды колебаний детали от частоты воздействия режущего инструмента в сечении 0 мм.

Заключение раздела

Согласно аналитическому изображению, по мере увеличения скорости фрезерования различные параметры постоянно меняются. В целом вибрация заготовки и фрезы увеличивается с увеличением частоты фрезерования, а амплитуда колебаний сначала увеличивается, затем сильно уменьшается и, наконец, стабилизируется на фиксированном значении. Толщина стружки также соответствует этому правилу, но, начиная со скорости резания 125 м/мин, толщина стружки в основном сосредоточена на 0,05 мм.

По графикам зависимостей амплитуды колебания пластины от заданного параметра видно, что амплитуда колебания увеличивается с увеличением частоты фрезерования от γ_1 до γ_3 , амплитуда колебания пластины уменьшается с увеличением частоты фрезерования от γ_4 до γ_{11} . Толщина стружки в целом показывает тенденцию к уменьшению для разных частот фрезерования. По графиками зависимости амплитуды колебания фрезы и стола видно, что между фрезой и столом амплитуды колебания нет очевидной линейной связи.

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

ЧПУ, с помощью которой станок сможет автоматически подбирать и устанавливать частоту резания, предугадывая колебания тонкостенной детали в режиме реального времени.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Ван Вэйчэнь

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	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>Отчисления 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</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н		08.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	Ван Вэйчэнь		08.02.2021

2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

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.

Целью НИР является исследование влияния параметров фрезерования на точность обработки не жёстких деталей

2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

2.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки о покрытиях различного состава:

- 1) Влияние геометрии концевых фрез на их напряжённо-деформированное состояние при резании стали
- 2) Моделирование процессов в оборудовании при обработке тонкостенных деталей

Таблица 2.1 – Сравнение конкурентных технических решений (исследовательских работ).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,15	4	3	4	0,6	0,45	0,6
2. Энергоэкономичность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
3. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,11	5	5	5	0,55	0,55	0,55
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
5. Надёжность	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
6. Эффективность работы	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
7. Безопасность	0,16	5	4	4	0,8	0,64	0,64
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена на расходы	0,17	5	3	3	0,85	0,51	0,51
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
3. Финансирование научного исследования	0,03	5	2	2	0,15	0,06	0,06
Итого	1	45	37	36	4,46	3,63	3,65

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

$$K = \sum B_i \times \text{Б}_i = 0,1 \times 4 = 0,4 \quad (2.1),$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); Б_i – балл показателя;

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

2.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Низкая цена исходного сырья.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.
С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С4. Экологичность технологии.	Сл4. Зачистка стружки.
С5. Эксперименты проводились на компьютере, и результаты были более точными..	Сл5. Вероятность получения брака.

Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН.	У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.	У3. Результаты исследования не соответствуют требованиям рынка
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	У4. Текущие компьютерные программы SW возможно не допущены к применению в дальнейшей обстановке.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 2.3–2.6.

Таблица 2.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

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

Таблица 2.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

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

Таблица 2.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5

проекта	У1	-	+	-	-	-
	У2	-	+	-	-	-
	У3	+	-	-	-	-
	У4	-	+	-	+	-

Таблица 2.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	+	-	-	-	+
	У4	-	+	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Низкая цена исходного сырья.</p> <p>С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p> <p>С5. Эксперименты проводили на компьютере, и результаты были более точными..</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.</p> <p>Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p> <p>Сл4. Зачистка стружки.</p> <p>Сл5. Вероятность получения брака.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>В3. Внедрение</p>	<p>Направления развития</p> <p>Направления развития В2С2С3. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции позволяет расширить спрос, использование новейшей информации и технологий соответствует потенциальному спросу на новые разработки.</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл3Сл4Сл5. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.</p>

<p>технологии в аэрокосмической области. В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p>В3С2С4. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции и экологичность технологии являются хорошим основанием для внедрения технологии в аэрокосмической области. В4С1С2. Низкая цена исходного сырья и высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок. Сдерживающие факторы В1Сл3Сл4Сл5. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.</p>	
<p>Угрозы У1. Снижение стоимости разработок конкурентов. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок. У3. Результаты исследования не соответствуют требованиям рынка У4. Текущие компьютерные программы SW возможно не допущены к применению в дальнейшей обстановке.</p>	<p>Угрозы развития У1С2. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши продукты имеют лучшие механические свойства, больше перспектив развития. У2С2. Наши продукты обладают лучшими механическими свойствами, являются более привлекательными мировом рынке.</p>	<p>Уязвимости: У1Сл4Сл5. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности.</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.

2.2 Планирование научно-исследовательских работ

2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания,	Научный руководитель
	2	Утверждение темы диссертации	Инженер, научный

			руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Утверждение экспериментов	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка материалов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента на лаборатории	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Обработка полученных результатов в MATLAB	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (2.1)$$

Где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіi}}{Ч_i}, \quad (2.2)$$

Где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожіi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (2.3):

$$\begin{aligned} T_{ki} \\ = T_{pi} \\ \times k \end{aligned} \quad (2.3)$$

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

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

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (2.4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования

обобщены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{Pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{mini} , чел-дни		t_{maxi} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1,4	2
2. Утверждение темы диссертации.	1	2	2	3	1,4	2	2	3
3. Обзор научной литературы	-	40	-	60	-	48	48	71
4. Утверждение экспериментов	-	50	-	70	-	58	58	86
5. Планирование эксперимента	-	5	-	8	-	6,2	6,2	9
6. Подготовка материалов для эксперимента	30	60	40	80	34	68	68	75
7. Проведение эксперимента на лаборатории	-	5	-	8	-	6,2	6,2	9
8. Обработка полученных данных	-	40	-	50	-	44	44	65
9. Обработка полученных результатов в MATLAB	3	8	5	10	3,8	8,8	8,8	9
10. Составление пояснительной записки	-	20	-	40	-	28	28	41
Итого:	35	230	44	319	40,6	269,2	269,2	370

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Диаграмма Ганта

№	Виды работ	Исп	T _{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ													
				январь - март			апрель -июнь			Июль - сентябрь			Октябрь - декабрь			ян ва рь	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	
1	Составление и утверждение технического задания	Исп1	2	■													
2	Утверждение темы диссертации.	Исп1 Исп2	3	■													
3	Обзор научной литературы	Исп2	71	■	■	■											
4	Утверждение экспериментов	Исп2	86				■	■	■								
5	Планирование эксперимента	Исп2	9						■								
6	Подготовка материалов для эксперимента	Исп1 Исп2	75						■	■	■						
7	Проведение эксперимента на лаборатории	Исп2	9											■			
8	Обработка полученных данных	Исп2	65											■	■		
9	Обработка полученных результатов в MATLAB	Исп1 Исп2	9												■	■	
10	Составление пояснительной записки	Исп2	41													■	■

Примечание:

■ – Исп. 1 (научный руководитель), ■ – Исп. 2 (инженер)

2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим 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.

2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при исследовании. Результаты расчета затрат представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Материальные затраты.

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	5	1 700
Картридж для лазерного принтера	3490	1	3 490
Офисные бумаги А4 (в форме малой коротки)	490	1	490
Итого:			5680

2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (2.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times t \quad (2.6)$$

Где I – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Таблица 2.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	4	60	60
Итого		60 тыс. руб.			

Рассчитывается норма амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 4 года (по формуле 2.6):

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Общая сумма амортизационных отчислений (по формуле 2.7):

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times t = \frac{0,25 \times 60000}{12} \times 4 = 5000 \text{ руб}$$

2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$\begin{aligned}
& Z_{\text{осн}} \\
& = Z_{\text{дн}} \\
& \times T_p
\end{aligned}
\tag{2,8}$$

Где:

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дней. (по таблице 3.9 для инженера: $T_{p2} = 270$ дней, для руководителя: $T_{p1} = 41$ дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 2.9:

$$\begin{aligned}
& Z_{\text{дн}} \\
& = \frac{Z_m \times M}{F_d}
\end{aligned}
\tag{2,9}$$

Где:

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. Дней (в данном случае $F_d = 247$ дней);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 118 раб. дней, $M = 8,1$ месяц, 6-дневная рабочая неделя);

Должностной оклад работника за месяц определяется по формуле 2.10:

$$\begin{aligned}
Z_m = Z_{mc} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \\
\quad \times k_p
\end{aligned}
\tag{2.10}$$

Где:

$Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб (для руководителя

$Z_{мс1} = 27500$ руб, а для инженера $Z_{мс2} = 10580$ руб);

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_{р}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томск);

По формуле 2.10 определяется должностной оклад руководителя за месяц:

$$Z_{м1} = Z_{мс1} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_{р} = 27500 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 53625 \text{ руб}$$

По формуле 4,10 определяется должностной оклад инженера за месяц:

$$\begin{aligned} Z_{м2} &= Z_{мс2} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_{р} = 10580 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 \\ &= 20631 \text{ руб} \end{aligned}$$

Среднедневная заработная плата у руководителя рассчитывается по формуле

2.9

$$Z_{дн1} = \frac{Z_{м} \times M}{F_{д}} = \frac{53625 \times 8,1}{247} = 1758,55 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата у инженера рассчитывается по формуле 2.9:

$$Z_{дн2} = \frac{Z_{м} \times M}{F_{д}} = \frac{20631 \times 8,1}{247} = 676,56 \text{ руб}$$

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле 2.8:

$$Z_{осн1} = Z_{дн1} \times T_{р1} = 1758,55 \times 41 = 72100,55 \text{ руб}$$

Основная заработная плата инженера рассчитывается по формуле 2.8:

$$Z_{осн2} = Z_{дн2} \times T_{р2} = 676,56 \times 270 = 182671,2 \text{ руб}$$

Таким образом, затраты на общую основную заработную плату составляют:

$$Z_{осн \text{ обще}} = Z_{осн1} + Z_{осн2} = 72100,55 + 182671,2 = 254771,75 \text{ руб}$$

Перечисленные информации представляются в таблице 2.14:

Таблица 3.14 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , дн	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	27500	0,3	0,2	1,3	53625	1758,55	41	72100,55
Инженер	10580	0,3	0,2	1,3	20631	676,56	270	182671,2
Итого:								254771,75

2.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле 2.11:

$$\begin{aligned}
 & Z_{доп} \\
 & = k_{доп} \\
 & \times Z_{осн}
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

Где:

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата;

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

По формуле 3.11 определяется дополнительная заработная плата для руководителя:

$$Z_{доп1} = k_{доп} \times Z_{осн1} = 0,15 \times 72100,55 = 10815,08 \text{ руб}$$

По формуле 2.11 определяется дополнительная заработная плата для инженера:

$$Z_{доп2} = k_{доп} \times Z_{осн2} = 0,15 \times 182671,2 = 27400,68 \text{ руб}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$Z_{доп\text{ общ}} = Z_{доп1} + Z_{доп2} = 10815,08 + 27400,68 = 38215,76 \text{ руб}$$

2.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле 2.12:

$$Z_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) \quad (2.12)$$

Где:

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году –30% (ст. 425 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя определяются по формуле 2.12:

$$Z_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) = 0,3 \times (72100,55 + 10815,08) = 24874,69 \text{ руб}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера определяются по формуле 2.12:

$$Z_{\text{внеб2}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн2}} + Z_{\text{доп2}}) = 0,3 \times (182671,2 + 27400,68) = 63021,56 \text{ руб}$$

Таким образом, общие затраты на составляется отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб общ}} = Z_{\text{внеб1}} + Z_{\text{внеб2}} = 24874,69 + 63021,56 = 87896,25 \text{ руб}$$

2.3.6 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 т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле 2.13:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5)k_{\text{нр}} \quad (2.13)$$

Где:

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

2.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 2.15:

Таблица 2.15 – Группировка затрат по статьям.

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
5680	5000	254771,75	38215,76	87896,25	391563,71	62650,19	454213,9

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Влияние частоты фрезерования на точность обработки не жестких деталей» по форме, приведенной в таблице 2.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 2.16 – Группировка затрат по статьям.

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	5680	6300	4750
2	Затраты на специальное оборудование	5000	2475	2600
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	254771,7	415230	376520

4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	38215,76	526500	512600
5	Отчисления во внебюджетные фонды	87896,25	292400	276500
6	Накладные расходы	391563,71	185000	176000
Бюджет затрат НИР		454213,9	1635000	1328000

Где:

Исп.2 – Аналог 1, Исп.3- Аналог 2;

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1). Моделирование силы резания на точности обработки не жестких деталей при фрезеровании.

2). Методы снижения вибрации при фрезеровании тонкостенных элементов деталей

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле

2.14:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (2,14)$$

Где:

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения из всех вариантов;

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 454213,9 \text{ руб}, \quad \Phi_{\text{исп.1}} = 1635000 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 1328000 \text{ руб}, \quad \Phi_{\text{max}} = \Phi_{\text{исп.1}} = 1635000 \text{ руб}$$

По формуле 2.14 определяется интегральный финансовый показатель для текущего проекта:

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{454213,9}{1635000} = 0,28$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1635000}{1635000} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1328000}{1635000} = 0,81$$

В результате расчетов интегральных финансовых показателей по трем вариантам разработки текущий проект с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 2.17).

Таблица 2.17 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов.

Объекты исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,25	5	5	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,15	5	4	4
4. Механические свойства	0,25	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	4
ИТОГО	1	4,8	4,4	3,95

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для текущего проекта:

$$I_p^{\text{текущ.проект}} = 0,25 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,15 \times 5 + 0,25 \times 5 + 0,15 \times 5 = 4,8$$

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.1}} = 0,25 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,25 \times 4 + 0,15 \times 5 = 4,4$$

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,25 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,15 \times 4 + 0,25 \times 3 + 0,15 \times 4 = 3,95$$

В результате расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности по трем вариантам разработки текущий проект с большим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения ресурсной эффективности.

Интегральные показатели эффективности всех вариантов вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле 2.15:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (2.15)$$

Где:

$I_{\text{эф.}i}$ – интегральный показатель эффективности i -ого варианта разработки;

$I_p^{\text{исп.}i}$ – интегральный показатель ресурсной эффективности i -ого варианта разработки;

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ - интегральный финансовый показатель i -ого варианта разработки;

По формуле 2.15 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{\text{эф.текущ.проект}} = \frac{I_p^{\text{текущ.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}}} = \frac{4,8}{0,87} = 5,52$$

По формуле 2.15 определяется интегральный показатель эффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.1}} = \frac{I_p^{\text{исп.1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4,4}{1} = 4,4$$

По формуле 2.15 определяется интегральный показатель эффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_p^{\text{исп.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{3,95}{0,81} = 4,88$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого варианта НИР сравнивалось с средним значением интегрального показателя эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов (таблица 2.18).

Таблица 2.18 – Сравнительные эффективности разработок.

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,28	1	0,81
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,4	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	5,52	4,4	4,88
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,876	0.861

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансовым и ресурсным эффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

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. Общие количества дней для выполнения работ составляет 370 дней. Общие количества дней, в течение которых работал инженер, составляет 270 дней. Общие количества дней, в течение которых работал руководитель, составляет 41 дней.

Вывод №3: для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, значение которого составляет 454213,9 рублей. (требуемый затраты текущего проекта значительно меньше других конкурентных вариантов).

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

- 1) Значение интегрального финансового показателя текущего проекта составляет 0,28, которое показано, что текущий проект является более выгодным по сравнению с другими вариантами;
- 2) Значение интегрального показателя ресурсной эффективности текущего проекта составляет 4,85, по сравнению с 4,45 (первого конкурента) и 3,95 (второго конкурента);

3) Значение интегрального показателя эффективности текущего проекта составляет 5,52, по сравнению с 4,4 (первого конкурента) и 4,88 (второго конкурента), которое является наиболее высоким из всех вариантов. Это показано, что текущий проект является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM91	Ван Вэйчэнь

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема ВКР:

Влияние частоты фрезерования на точность обработки не жестких деталей.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: частоты фрезерования.</p> <p>Область применения: машиностроение</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>1) Трудовой кодекс Российской Федерации от 08.06.2020 N 171-ФЗ</p> <p>2) ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>3) ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p> <p>4) ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p> <p>5) ГОСТ 22613-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования.</p> <p>6) ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования.</p> <p>7) ГОСТ 22902-78. Система «человек-машина». Отсчетные устройства</p>

	<p>индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.</p> <p>8) ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</p> <p>9) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. превышение уровня шума; 2. недостаточная освещенность рабочей зоны 3. повышенный уровень вибрации <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. разлет стружки при резании стали 2. повышенная температура поверхностей оборудования 3. Опасность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность:	Утилизация бытовых отходов, стружки
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС</p> <p>Стихийные бедствия, воды, терроризм, войны, пожар.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: Пожар.</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 Лариса Александровна			09.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ван Вэйчэнь		09.03.2021

Раздел «Социальная ответственность»

Введение

Выполнение выпускной квалификационной работы осуществлялось в моделирующих данный процесс программах.

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

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

3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном разделе будут рассматриваться рабочее место оператора фрезерного станка.

Рабочее помещение должно оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией.

Прежде рабочее место оператора станка должно обеспечиваться необходимым количеством заготовок, инструмента и приспособлений для бесперебойной работы в течение смены. Площадь рабочего места должна быть такой, чтобы, с одной стороны, она гарантировала оптимальные условия труда, а с другой - была бы экономически целесообразной.

Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Расположение рабочих мест за мониторами и другими приборами для взрослых пользователей в подвальных помещениях не допускается.

Для внутренней отделки интерьера помещений должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка — 0,7- 0,8; для стен — 0,5- 0,6; для пола — 0,3- 0,5

На рисунке 1 показано спроектированное рабочее место.

Необходимыми требованиями являются обеспечение условий для безопасного ведения работ, соблюдение норм и правил техники безопасности, правил работы с электрооборудованием. Необходимо следить за концентрацией вредных веществ в воздухе, исправностью проводки, изоляции кабелей и пр., чтобы не допустить возникновения пожароопасных и взрывоопасных ситуаций.

В данной работе самая опасная зона является рабочим местом станочника, поэтому во время станочных операций только один специальный оператор работает в рабочей зоне, который должен носить защитные очки и нельзя носить перчатки, потому что перчатки легко захватываются движущимися частями станка в процессе обработки.

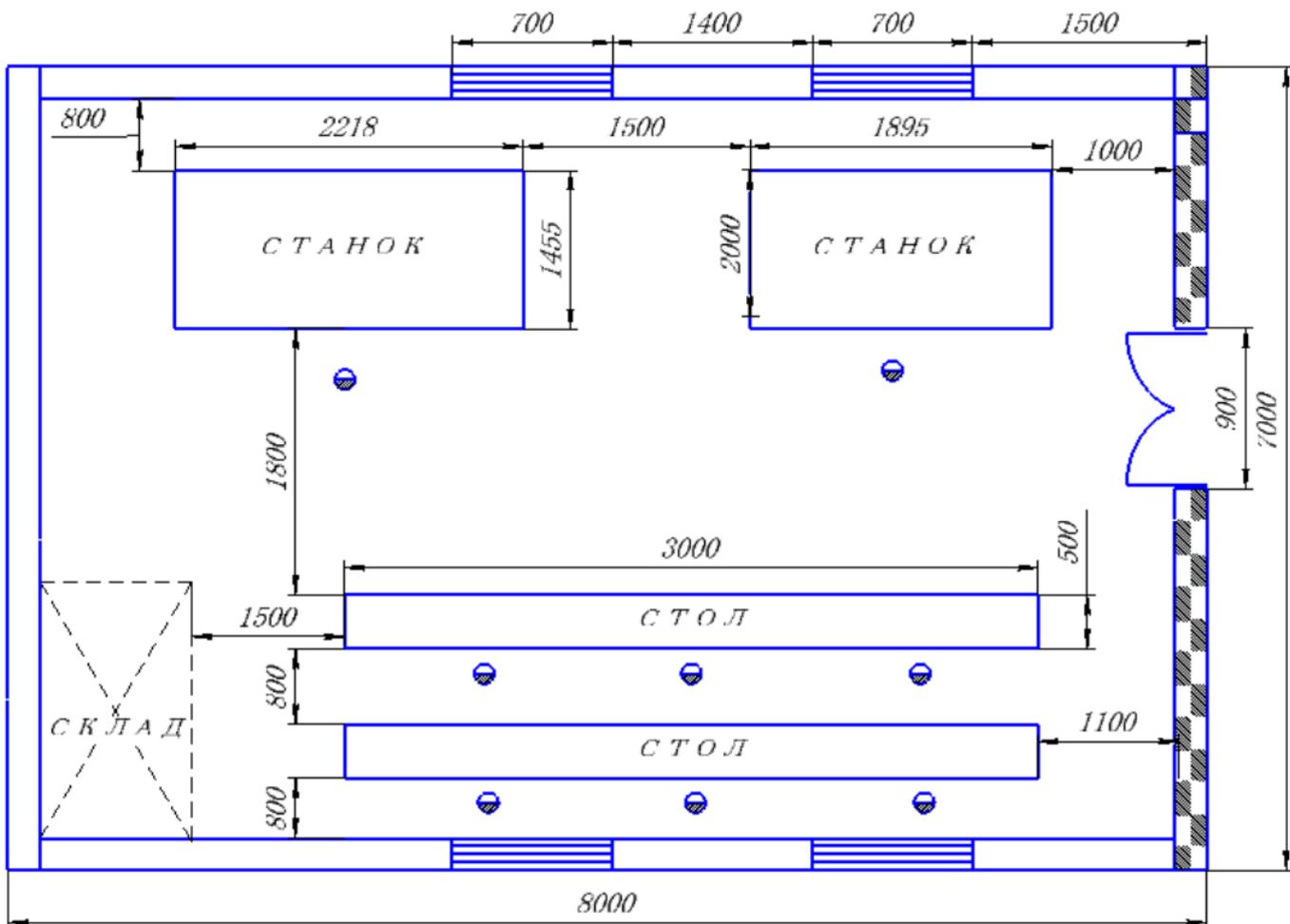


Рисунок 3.1 – Рабочее место

3.2 Производственная безопасность

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

Таблицы 3.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовлени	Эксплуатаци	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2.Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.
4.Недостаточна я освещенность		+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.

рабочей зоны				Электробезопасность.	Предельно
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	+	допустимые уровни прикосновения и токов	напряжений

3.3 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

а) Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела

замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 75\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 4.2. [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 3.2.

Таблица 3.2. - Допустимые значения микроклимата

Период года	Категория	Температура, °	Относительная	Скорость
-------------	-----------	----------------	---------------	----------

	работы	С	влажность, %	движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	15 - 28	20 - 80	< 0,5
Теплый	средняя			

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

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

б) Превышение уровня шума

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. Максимальный уровень звука постоянного шума на нашем рабочем месте до 75 дБА. Основным источником шума является станки и обработки заготовки. Для снижения уровня шума, конструкцией станка предусмотрен закрытый корпус. При значениях выше

допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ):

Наиболее эффективны индивидуальные средства защиты, как правило, в области высоких частот. В качестве индивидуальных средств защиты применяют противозумные наушники, вкладыши и шлемофоны. Для высокого уровня шума применяются специальные шлемы, противозумные костюмы.

В данной работе используются противозумные наушники для защиты высокого уровня шума.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Шум от источников аэродинамического шума можно уменьшить применением виброизолирующих прокладок, установленных между основанием машины, прибора и опорной поверхностью. В качестве прокладок используют резину, войлок, пробку, амортизаторы.

Настольные шумящие аппараты, счетные, перфорационные машины можно устанавливать на мягкие коврики из синтетических материалов, а под ножки столов - прокладки из резины, войлока толщиной 6-8 мм. Крепление прокладок возможно путем приклейки их к опорным частям. Замена - через 4-5 лет (из резины) и через 2-2,5 года (из войлока).

В некоторых случаях уменьшение уровня шума на рабочих местах достигается применением акустических экранов, обеспечив снижение интенсивности прямого звука источника.

Действие экрана основано на отражении или поглощении падающих на него звуковых волн и образование за экраном области звуковой тени. Экраны

изготавливают из сложных твердых листов илищитов, облицованных звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50 мм.

в) Отсутствие или недостаток естественного света

Помещения должны иметь как естественное, так и искусственное освещение. Вследствие того, что работа оператора по обслуживанию пульта управления радиостанцией соответствует разряду зрительной работы III б, следует соблюдать следующие требования, предъявляемые рабочему месту.

Естественное освещение осуществляется через светопроемы, обеспечивающие необходимый коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,2 %.

Искусственное освещение в помещениях пульта управления должно осуществляться системой равномерного освещения.

В качестве источников света при искусственном освещении применяются преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ.

Освещенность на рабочем месте оператора должна составлять не менее 200 лк при системе общего освещения и не менее 750 лк при системе комбинированного освещения.

Для освещения помещений чаще всего применяются светильники серии ЛП 036 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ВЧ ПРА). Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна

составлять не более 200 кд/м², а защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,5. Коэффициент пульсации не должен превышать 15%, что должно обеспечиваться применением газоразрядных ламп в светильниках общего освещения с высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ВЧ ПРА) для любых типов светильников. При отсутствии светильников с ВЧ ПРА лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети.

Помещение имеет параметры: длина – А=8 м; ширина – В=7 метров; высота – Н=3,5 метра; рабочая плоскость находится на уровне d=1,8 м; свес светильника – m=0,2 м; расстояние между светильниками – h=Н-d-m=1,5 м

Рассчитаем площадь помещения: $S = A \cdot B = 8 \cdot 7 = 56 \text{ м}^2$

Индекс помещения находится по формуле:

$$i = \frac{S}{(A + B) \cdot h} = \frac{56}{(8 + 7) \cdot 1,5} = 2,5$$

По индексу помещения и коэффициентам отражения, находим коэффициент использования светового потока $\eta=48\%$. Количество принятых светильников N=9. Коэффициент минимальной освещенности принять за $z=1,1$. По СП 52.13330.2016 нормируемая освещенность составляет $E_n=300$ лк, коэффициент запаса $k_z=1,5$.

Вычислим световой поток для создания требуемого освещения:

$$\Phi_{л} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta \cdot \eta} = 5703 \text{ лм}$$

Световой поток для одного светильника равен:

$$\Phi_{л1} = \frac{\Phi_{л}}{N} = \frac{5073}{9} = 633 \text{ лм}$$

Выбираем стандартную ближайшую лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = \omega * S = 40 * 56 = 2240 \text{ Вт.}$$

Тогда мощность каждой лампы:

$$P_{л} = P / n = 2240 / 9 = 248 \text{ Вт.}$$

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 9 \cdot 40 = 360 \text{ Вт.}$$

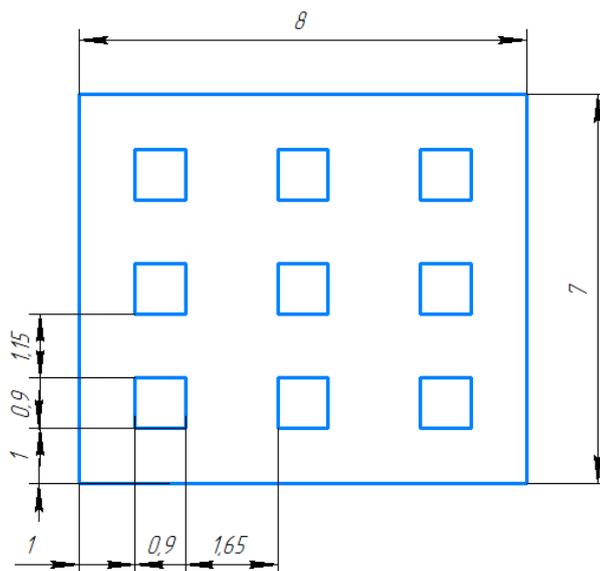


Рисунок 3.2 – Схема расположения ламп.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год.

В нашей рабочей области освещение является достаточным.

г) Недостаточная освещенность рабочей зоны

Работа инженера-разработчика имеет третий разряд точности, т.е. при выполнении работ происходит большая нагрузка на органы зрения человека. Освещенность рабочего места должна быть согласно СНиП 23-05-95 300 лк (разряд зрительной работы IVa, минимальный размер предметов различения 0,5 – 1 мм). Обеспечить это требование естественным освещением практически невозможно, поэтому должно применяться комбинированное освещение.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год.

д) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Оборудование, находящееся в пределах рабочей площадки (насосы, ротор, подъемник), работает от электрического тока. Как следствие, существует вероятность поражения электрическим током рабочего. Проходя через человека электрический ток воздействует на организм следующим образом:

1) Биологическое воздействие. Выражается в раздражении и возбуждении живых клеток организма, что приводит к непроизвольным судорожным сокращениям мышц, нарушению нервной системы, органов дыхания и кровообращения. При этом могут наблюдаться обмороки, потеря сознания, расстройство речи, судороги, нарушение дыхания (вплоть до остановки). Тяжелая электротравма нарушает функции мозга, дыхания, сердца до полной их остановки, что приводит к гибели пострадавшего. Наиболее

частой причиной смерти от электротравмы является фибрилляция желудочков сердца, при которой нарушается сократительная способность мышц сердца.

2) Электролитическое воздействие. Проявляется в разложении плазмы крови и др. органических жидкостей, что может привести к нарушению их физико-химического состава.

3) Термическое воздействие. Сопровождается ожогами участков тела и перегревом отдельных внутренних органов, вызывая в них различные функциональные расстройства. Ожоги вызываются тепловым действием электрического тока или электрической дуги.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

При эксплуатации электрического оборудования необходимо помнить о возможности случайного прикосновения или приближения к токоведущим частям и прикосновения к металлическим нетокведущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, о переходе в трансформаторе высокого напряжения на низкое, о переходе тока низкой частоты в цепь высокой, об образовании электроискр, дуг или о нагреве токоведущих частей.

3.4 Экологическая безопасность.

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

3.4.1. Защита атмосферы

В данном эксперименте не влияет на состояние атмосферы, потому что в

процессе не возникает новые вредные газы.

3.4.2. Защита гидросферы

В данном эксперименте не влияет состояние гидросферы, потому что в процессе не используется жидкость.

3.4.3. Защита литосферы

В данном эксперименте не влияет состояние литосферы.

При эксперименте точения стали образуются многожелезных стружек, мы соберем эти железные стружки и перенесем их на склад после эксперимента, а затем перевезут стружки в специализированный завод на переработку для повторного использования.

3.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Масляные обогреватели нагреваются до температуры 110-150 градусов, поэтому довольно быстро способны отопить

помещение. Некоторые модели масляных радиаторов наделены вентилятором, с помощью которого теплый воздух быстрее распространяется по всему помещению. Масляный обогреватель с термостатом, можно вообще не выключать. Обогреватель будет самостоятельно отключаться, когда температура поднимется до заданной. То есть на время отсутствия сотрудников можно выставить на термостате температуру 10-15 градусов, и не бояться, что они замерзнут, придя на работу. Главное учитывать, чтобы суммарная мощность обогревателей была меньше электрической мощности источника их питания. А также желательно наличие дополнительного автоматического выключателя в распределительном щите для защиты от перегрузок.

Абсолютную безопасность обеспечить невозможно, т.к. всегда будет оставаться риск возникновения чрезвычайных ситуаций, зависящие не только от поведения людей, но и от природы.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 2).



Рисунок 3.3 – план эвакуации при поражении и других ЧС

Заключение

В рамках данного раздела были рассмотрены вопросы обеспечения безопасности. Таким образом, подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод о том, что Безопасность жизнедеятельности - это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека. Безопасность следует принимать как комплексную систему, мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью.

Список литературы

1. Ли Ян. Влияние геометрии концевых фрез на их напряжённо - деформированное состояние при резании стали – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – стр 18-19.
2. Каблов, Е.Н.. Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия /Е.Н. Каблов. –2-е изд., перераб. – М.: «МИСИС». –2006. –с632.
3. Казанский.Д.А..Проблемы продления службы рабочих и направляющих лопаток современных газовых турбин. [Электронный ресурс]/Д.А. Казанский// –Режим доступа: <http://resursturbin.ru/pdf/resursturbin04.pdf>.
4. Жаргалова А.Д., Гаврюшин С.С., Лазаренко Г.П., Семисалов В.И.О «мягких» режимах резания для обработки тонкостенных деталей //Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) – стр 200
5. Гаврюшин С.С., Жаргалова А.Д., Лазаренко Г.П., Семисалов В.И..Метод определения условий механической обработки тонкостенных деталей // 2015 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
6. Кремлева Л.В.,Елисеев А.Н.. Сравнение вариантов схем базирования съемных лопастей гребных винтов при их обработке //Северный (Арктический) федеральный университет им. Ломоносова М.В., 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, стр 17
7. Синёв А.В.,Чистяков А.Г.,Былинин Л.Б., Эткин Д.Л., Денисенко Т.И., Яковлев В.В.. Робот-станок параллельной кинематики с устройствами динамического гашения колебаний Синёв А.В., Чистяков А.Г., Былинин Л.Б., Эткин Д.Л.,

Денисенко Т.И., Яковлев В.В. // Проблемы машиностроения и автоматизации, № 2 – 2009, стр 117

8. Костин П.Н., Лукьянов А.В. Коррекция частоты вращения шпинделя при фрезеровании по данным численного моделирования системы: приспособление-инструмент-заготовка Костин П.Н., Лукьянов А.В.

9. Новиков В.И., Мурашкин С.Л., Фоломкин А.И. Технологические возможности чистовой обработки турбинных лопаток электролитно-плазменным методом Новиков В.И., Мурашкин С.Л., Фоломкин А.И. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование 2-2' 2012.

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

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

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

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

14. Дядя С.И.. Исследование механизма возбуждения автоколебаний при концевом фрезеровании тонкостенного элемента детали. Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье. 2017 г.
15. Беликов С.Б., Гермашев А.И., Логоминов В.А., Козлова Е.Б., Кришталь В.А.. Особенности концевого фрезерования сложно – профильных тонкостенных деталей. Запорожский национальный технический университет, 2ГП «Ивченко-Прогресс»; г. Запорожье, 2017 г.
16. Дядя С.И., Козлова Е.Б., А.И. Гермашев, А.А. Сердюк Влияние условий концевого финишного фрезерования на параметры колебаний тонкостенной детали // Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье 2015 г.
17. Воронов С.А., Непочатов А.В., Киселев И.А.. Критерии оценки устойчивости процесса фрезерования нежестких деталей. // Известия высших учебных заведений. 2010 г.
18. Николаев С.М, Жулёв В.А, Киселёв И.А. Уточнение конечно-элементной модели лопатки ГТД на основе результатов вибрационных испытаний с учётом разброса модальных параметров // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 09. С. 336–351.
19. C. Brecher , M. Esser, S. Witt. CIRP Annals – Manufacturing Technology //Laboratory for Machine Tools and Production Engineering, RWTH Aachen University, Aachen, Germany
20. Milling P. Kersting, D. Biermann. Modeling Techniques for the Prediction of Workpiece Deflections in NC Milling P. Kersting, D. Biermann //Institute of

Machining Technology, TU Dortmund, Baroper Str. 301, 44227 Dortmund, Germany
2012г.

21. Erhan Budak , L.Taner Tunc , a, Salih Alan b, H. Nevzat. Prediction of workpiece dynamics and its effects on chatter stability in milling Erhan Budak , L.Taner Tunc , a, Salih Alan b, H. Nevzat // CIRP Annals – Manufacturing Technology 61 (2012) 339–342.

22. Simulation of milling tool vibration trajectories along changing engagement conditions Tobias Surmann. International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 1442–1448.

23. A novel stability prediction approach for thin-walled component milling considering material removing process Chinese Journal of Aeronautics, (2017),

24. P. Kersting, D. Biermann. Modeling techniques for simulating workpiece deflections in NC milling P. Kersting, D. Biermann Institute of Machining Technology, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 7 (2014) 48.54.

25. Daniel Bachrathy, Gabor Stepan. Improved prediction of stability lobes with extended multi frequency solution Daniel Bachrathy, Gabor Stepan. CIRP Annals - Manufacturing Technology 62 (2013) 411–414.

26. Xiao Jian Zhang, Cai Hua Xiong ,Ye Ding, Ming Jun Feng, You Lun Xiong Milling stability analysis with simultaneously considering the structural mode coupling effect and regenerative effect./ International Journal of Machine Tools Manufacture 53 (2012) 127–140.

27. Graham, M. Mehrpouya , R. Nagamune , S.S. Park. Robust prediction of chatter stability in micro milling comparing edge theorem and LMI // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 7 (2014) 29–39.
28. Ahmad R.Yusoff , Neil D.Sims. Optimization of variable helix tool geometry for regenerative chatter mitigation//International Journal of Machine Tools & Manufacture 51(2011).
29. Воронов С.А., Иванов И.И., Киселев И.А. Исследование процесса фрезерования на основе редуцированной динамической модели инструмента./ Проблемы машиностроения и надежности машин № 1, 2015.
30. Колоскова А.В., Киселёв И.А., Иванов И.И. Моделирование динамики процесса точения с учетом податливости обрабатываемой детали // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN217.pdf> (доступ свободный).
31. Иванов И.И., Воронов С.А., Киселев И.А. Моделирование динамики фрезерования с управлением скоростью вращения шпинделя. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, г.Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1 2015 г.
32. Колоскова А.В., Киселёв И.А., Иванов И.И. Моделирование динамики процесса точения с учетом податливости обрабатываемой детали // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017 г) <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN217.pdf> (доступ свободный).

33. Иванов И.И, Воронов С.А, Николаев С.М, Куць В.А. Моделирование вибраций при плоском фрезеровании с коррекцией частоты вращения в режиме реального времени. / Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2017. № 03. С. 1–16. 2017г.
34. Куць В.А., Николаев С.М., Иванов И.И. Метод детектирования автоколебаний узлов технологической системы при фрезерной обработке. Часть 1: Описание и апробация алгоритма детектирования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/132TVN616.pdf> (доступ свободный).
35. Y. Altintas , O. Tuysuz , M. Habibi , Z.L. Li. Virtual compensation of deflection errors in ball end milling of flexible blades. CIRP Annals – Manufacturing Technology 67 (2018).
36. Логунов А.В. Жаропрочные никелевые сплавы для лопаток и дисков газовых турбин / Логунов А.В.. – Рыбинск: Издательский дом «Газотурбинные технологии». – 2017. – 854 с , 12.
37. Афонасов И.В. Выбор оптимальных режимов резания при точении титановых сплавов.
38. Бейгельзимер Я.Е.. Технологические особенности изготовления лопаток компрессора ГТД из титановых сплавов с применением винтовой экструзии.
39. Варюхин В. Н., Распорня Д. В., Справочное руководство ISCAR Обработка титана

40. Расчет режимов резания при механической обработке металлов и сплавов [Э.Г. Бабенко].pdf
41. Справочник технолога том 1 (Косилова А.Г.).djvu]
42. Справочник технолога том 2 (Косилова А.Г.).djvu,

Приложение А

Investigation of the influence of milling parameters on the machining accuracy of
non-rigid parts.

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	Ван Вэйчэнь		25.05.2021

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков Владимир Сергеевич	к.т.н		25.05.2021

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Т.Ю.	к.ф.н.		25.05.2021

INTRODUCTION

In aerospace, aerospace, energy and other industries, milling of thin-walled parts is widely used. One of the key factors that limit high speed milling to achieve high speed, efficiency and machining accuracy is vibration during the milling process. Due to the low stiffness of thin-walled parts, vibration will occur during the milling process, which will cause some negative effects such as poor surface finish, uneven tool wear, etc. For such parts, it is imperative to minimize deformation. Therefore, the suppression of vibration of thin-walled parts during milling has always been a hot topic in academic and industrial research. For machining parts with low rigidity, the traditional method of fixing parts and cutting conditions obtained by standard calculations are not used. Deformation caused by cutting force and clamping force will seriously affects the quality and accuracy of the key surface. With the development of aerospace and aviation technology, the requirements for the design of thin-walled parts are becoming more stringent.

In this paper, software modelling and analysis techniques are used to reduce the effects of vibration and deformation during milling. For example, build a model of a part in Solid works software and apply a milling force to the model to calculate the stiffness of the part in relation to the variable deformation. This experimental method is very necessary in the design processing and manufacturing phase, and the technical process is in line with current digital manufacturing trends.

Computer simulation of the processing process makes it possible to more widely investigate the influence of various parameters on the accuracy and quality of

processing of thin-walled parts. In this regard, it is urgent to create computational programs for studying the behaviour of flexible parts and determining the parameters of technological processes.

1 Ordinary differential equations. General concepts

Differential equation concept.

Definition.

$$f(x, y, y', y'', y''', \dots, y^{(n)}) = 0$$

An ordinary differential equation is a differential equation of order n if the function $y(x)$ is unknown and n is the order of the highest derivative of this relation.

Definition. A solution (or a particular solution or a particular integral) of a differential equation is

$$f(x, y, y', y'', y''', \dots, y^{(n)}) = 0$$

Substituting the function $y(x)$ into the equation, together with all derivatives, we obtain an identity.

The general solution (or general integral) of a differential equation is the relation

$$\psi(x, y, C_1, C_2, \dots, C_n) = 0$$

where C_1, C_2, \dots, C_n are arbitrary constants (constants) of integration, which appear when integrating (finding a solution) of the differential equation.

Sometimes the implicit specification of a solution to a differential equation is called its integral $\psi(x, y)$.

A particular solution of the differential equation is obtained from the general solution by substituting specific values of the integration constants C_1, C_2, \dots, C_n into it.

Thus, the general solution of a differential equation is, in the general case, an infinite set of particular solutions.

2 Numerical methods for solving the Cauchy problem

The most common numerical method for solving differential equations is the finite difference method. The essence of the method is as follows. The region of continuous variation of the argument (for example, a segment) is replaced by a discrete set of points called nodes. These nodes make up the difference mesh. The required function of a continuous argument is approximately replaced by a function of a discrete argument on a given grid. This feature is called grid. The original differential equation is replaced by a difference equation. In this case, for the derivatives included in the original equation, the corresponding finite-difference relations are used. Such a replacement of a differential equation by a difference one is called its approximation on a grid (or a difference approximation). The set of difference equations that approximate the original differential equation, initial and boundary conditions is called a difference scheme. Thus, solving the differential equation is reduced to finding the values of the grid function.

Stability is understood as the continuous dependence of its solution on the input data (coefficients of equations, right-hand sides, initial boundary conditions), i.e. a small change in the input data corresponds to a small change in the solution. Otherwise, the circuit is called unstable.

A difference scheme is called correct if it is stable and its solution exists and is unique for any input data. In the theory of difference schemes, it is proved that if the difference scheme is stable and approximates the original differential problem, and then it converges.

Two groups of numerical methods for solving the Cauchy problem are considered.

One-step methods, in which information at only one previous point is used to find a solution at a certain point of a segment (for example, the Euler, Runge – Kutta methods).

3 Euler's method

Euler's method is the simplest method for solving the Cauchy problem and has low accuracy; therefore, in practice, it is rarely used. However, in the future, it will serve as the basis for more effective methods.

In the Cauchy problem (1.1), (1.2)

$$y'(x) = f(x, y) \quad (1.1)$$

$$y(x_0) = y_0 \quad (1.2)$$

we write equation (1.1) at the nodes $x_i, i = \overline{0, n-1}$ for simplicity, we assume that the nodes are equidistant, $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i = h = \text{const}$.

We replace the derivative with the following finite difference relation

$$y'(x_i) \approx \frac{y(x_{i+1}) - y(x_i)}{h}$$

Then, taking into account (1.1), we obtain

$$y'(x_i) \approx \frac{y(x_{i+1}) - y(x_i)}{h}$$

Whence follows the recurrent formula of Euler's method for approximate values $y(x_{i+1}) \approx y(x_i)$:

$$y_{i+1} = y_i + hf(x_i + y_i), i = \overline{0, n-1} \quad (1.3)$$

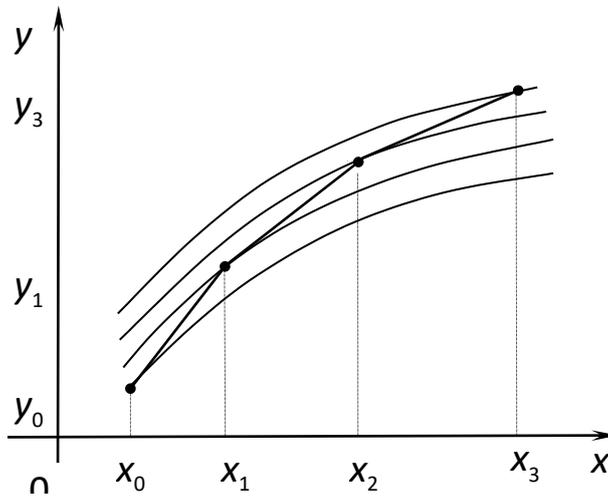


Figure 1 - Geometric illustration of the Euler method

Figure 1 gives a geometric illustration of Euler's method (1.3). The equation of the tangent to the graph of the solution $y(x)$ at the point (x_0, y_0) has the form.

4 2nd order Runge-Kutta method.

The Runge-Kutta method is a large class of numerical methods for solving the Cauchy problem for ordinary differential equations and their systems. Its main idea is that instead of using the partial derivatives of a function, we use the function itself, but at each step we calculate its values at several points.

Let us consider the Cauchy problem for the 1st order ODE.

$$y'(x) = f(x, y)$$

$$y(x_0) = y_0$$

It is required to find a function $y = y(x)$ that satisfies equation (1.1) on the interval (x_0, X) and the initial condition (1.2) at the point x_0 .

The R-K method is the most popular method for solving the Cauchy problem. This method allows constructing formulas for calculating an approximate solution of almost any order of accuracy.

Let's derive the formulas of the R-K method of the second order of accuracy. To do this, we represent the solution as a piece of the Taylor series, discarding terms with an order higher than the second. Then the approximate value of the required function at the point (x_1) can be written as:

$$\begin{aligned} y_1 &= y(x_0) + y'(x_0)(x_1 - x_0) + \frac{y''(x_0)}{2}(x_1 - x_0)^2 \\ &= y_0 + f(x_0, y_0)h + \frac{y''(x_0)}{2}h^2 \end{aligned} \quad (1.4)$$

The second derivative $y''(x_0)$ can be expressed in terms of the derivative of the function $f(x, y)$, however, in the P-K method, instead of the derivative, the difference is used

$$y''(x) \frac{d}{dx} f(x, y) \approx \frac{f(\tilde{x}, \tilde{y}) - f(x, y)}{\Delta x}$$

If the values of the parameters $\tilde{x}, (\tilde{y}) \Delta x$ are chosen appropriately, (1.4) can be replaced by the expression

$$y_1 = y_0 + h[\beta f(x_0, y_0) + \alpha f(x_0 + \gamma h, y_0 + \delta h)] \quad (1.5)$$

where α, β, γ and δ are some parameters.

Considering the right-hand side of as a function of the argument, we expand it in powers of h :

$$y_1 = y_0 + (\alpha + \beta)hf(x_0, y_0) + \alpha h^2[\gamma f_x(x_0, y_0) + \delta f_y(x_0, y_0)]$$

and choose the parameters α , β , γ , and δ so that this expansion is close to (1.4). Hence it follows that

$$\alpha + \beta = 1, \alpha\gamma = 0,5, \alpha\delta = 0,5f(x_0, y_0)$$

Using these equations, we express β , γ , δ in terms of the parameter α , we obtain

$$y_1 = y_0 + h \left[(1 - \alpha)f(x_0, y_0) + \alpha f \left(x_0 + \frac{h}{2\alpha}, y_0 + \frac{h}{2\alpha} f(x_0, y_0) \right) \right] \quad (1.5)$$

If instead of (x_0, y_0) in (4.3) we substitute (x_1, y_1) , we get a formula for calculating y_2 — the approximate value of the required function at the point x_2 .

In the general case, the R-K method is applied on an arbitrary partition of the segment $[x_0, X]$ into parts, that is, variable pitch

$$x_0, x_1, \dots, x_n; \quad h_i = x_{i+1} - x_i, \quad x_n = X$$

The parameter α is chosen equal to 1 or 0.5. Let us write down the final calculation formulas of the second-order P-K method with a variable step for

$$\alpha = 1: \quad y_{i+1} = y_i + h_i f \left(x_i + \frac{h_i}{2}, y_i + \frac{h_i}{2} f(x_i, y_i) \right),$$

$$i = \overline{0, n-1} \quad (1.6)$$

И $\alpha = 0,5$:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h_i}{2} [f(x_i, y_i) + f(x_i + h_i, y_i + h_i f(x_i, y_i))] , \quad i = \overline{0, n-1} \quad (1.7)$$

Method (1.7) coincides with the Euler-Cauchy method.

5 Investigation of cutting forces using the Kinzle form

Advances in drive technology, CNC and CAD / CAM systems have made the process of milling complex contour parts more efficient, such as body parts, blades, electrical machines, etc.

Increasing the productivity of milling and achieving the required processing accuracy significantly affects the competitiveness of a machine-building enterprise, which makes the study relevant. The solution to this problem comes down to determining the possibility of increasing the working feeds, the frequency of rotation of the spindles of machine tools, reducing the time of idle strokes and auxiliary movements. This is due to the development of modern technologies - high speed cutting (HSC) and high-performance machining (HSM - high speed machining).

In production, the appointment of cutting conditions during processing is carried out by the method of samples, taking into account the relevant recommendations and experience. In this case, as a rule, underestimated cutting conditions are used, which leads to a decrease in productivity. It is also known that the quality of the manufactured parts is greatly influenced by the dynamic processes occurring in the equipment. Taking these processes into account when assigning cutting conditions should help to determine the most productive modes that provide the required processing accuracy.

To study the processing of non-rigid parts, a turbine blade was considered. The complexity of processing the blades is high, since they must withstand high dynamic and thermal loads, and have high durability. Therefore, their design is very difficult to manufacture.

In modern mechanical engineering, the processing of non-rigid parts with a complex profile and high requirements for accuracy is often carried out using specialized computer-controlled metalworking centers. In this way, high accuracy can be achieved in one setup.

The quality of the processed surface and the accuracy of the manufactured part are influenced by technological parameters, such as:

- tool parameters;
- feed rate;
- tool rotation speed;
- depth of milling.

To improve the accuracy and surface quality of non-rigid parts, the dynamic parameters of the cutter-part system should be taken into account.

Figure 2 shows two methods for calculating the cutting force during milling, indicating their advantages and disadvantages, respectively. Calculation and analysis of experimental data show that the calculation method proposed by Kinzle has smaller errors in comparison with the actual results, and has the convenience of calculation and other advantages.

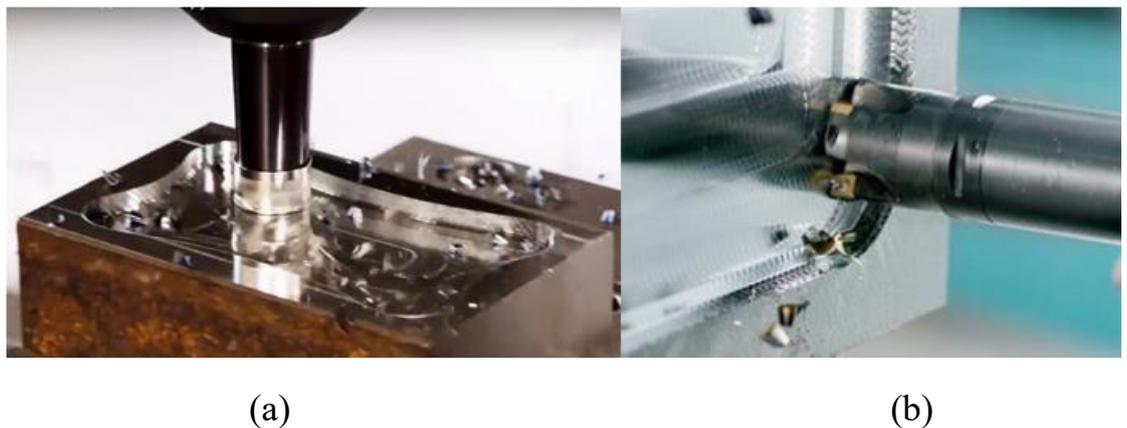


Figure 2 - Cutters for working at high feed manufacturers:

a - Seco Tools; b - Sandvik Coromant

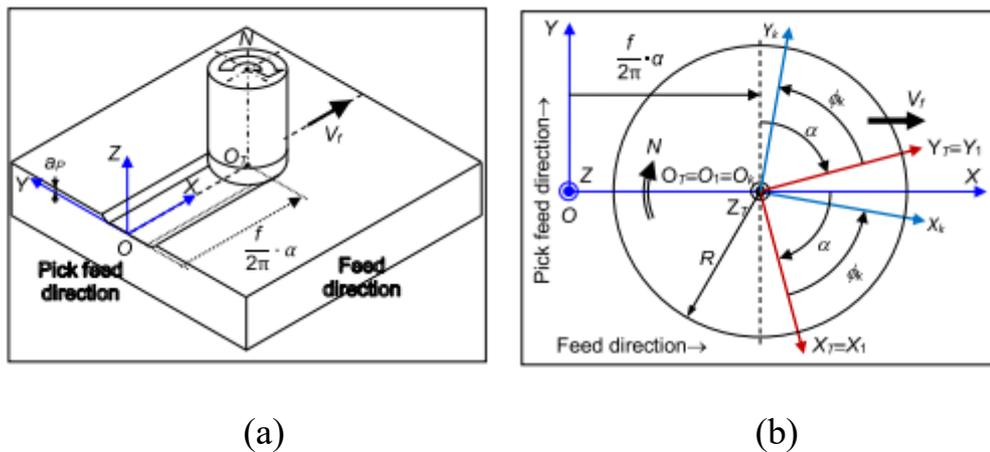
According to a technique proposed by Kinzle, the cutting force can be determined from the expression:

$$P_Z = k_{c1.1} \cdot a \cdot h^{(1-m_c)}$$

6 Technique for predicting the surface topography obtained by face milling.

The methodology applied in this paper for predicting topography created on end milled surfaces is divided into two parts. In the first part of the technique, which is schematically shown in Figure 3 (c), the topography created on the surface of the workpiece after the end mill passes along the feed direction (X-axis) with a depth of cut a_p is simulated.

However, in many cases, to mill the entire top surface of the workpiece, as shown in Figure 3 (d), it is necessary to make several overlapping side milling passes parallel to the feed direction (X-axis). These milling passes are spaced a_e apart in the direction of cutter feed (Y-axis) and eliminate the depth of cut a_p . The distance a_e between the side milling passes coincides with the radial depth of cut, which is removed by the face mill (Figure 3 (d)). In these cases, the final surface topography of the part will be the result of the intersection of the paths followed by the face milling inserts in these overlapping passes.



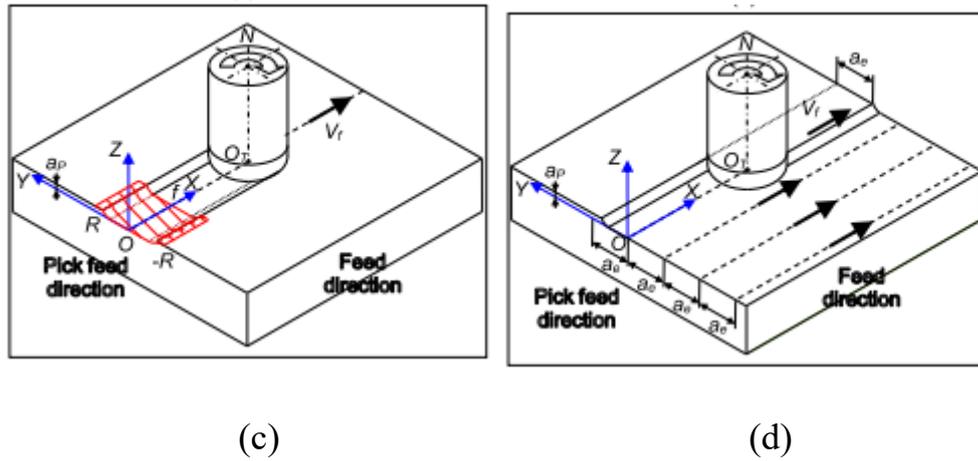


Figure 3 (a) Determination of the XYZ workpiece coordinate system and cutting conditions. (b) Modelling the cutting edge path for face milling. (c) Schematic representation of the surface topography created after the first pass. (d) Schematic representation of a face milling operation of a workpiece after multiple side passes.

7 The study of milling dynamics simulation

The figure 4 shows methods of vibration reduction when milling thin-walled parts are given. Simulation and analysis of the processing accuracy of non-rigid parts in face milling have been carried out.

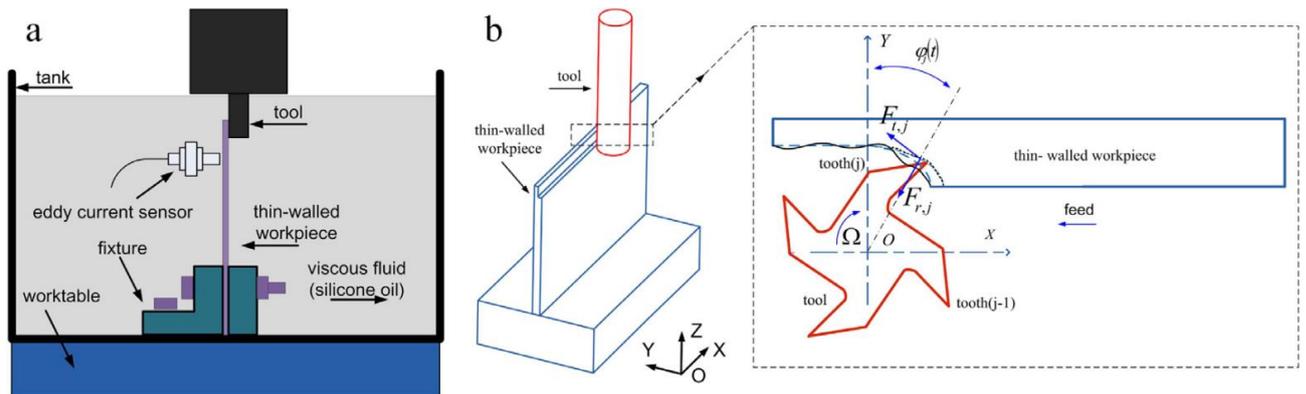
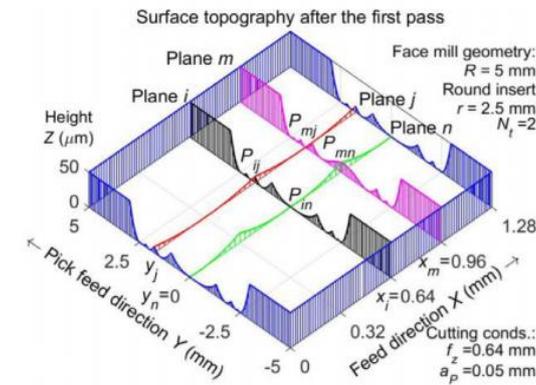


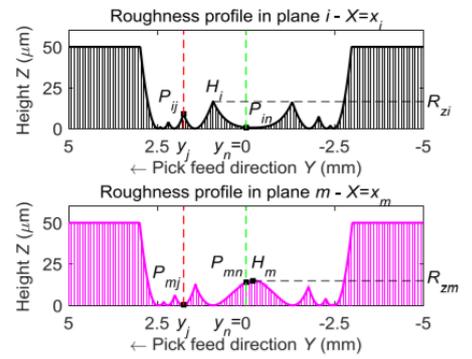
Figure 4 - Dynamic milling model for a thin-walled workpiece.

A 3D view of the simulated surface topography is represented in Fig. 5 (a). Fig. 5 (b) and (c) show the roughness values predicted along the feed direction (X -axis) and the pick feed direction (Y -axis) for the simulated surface topography (Fig. 5 (a)).

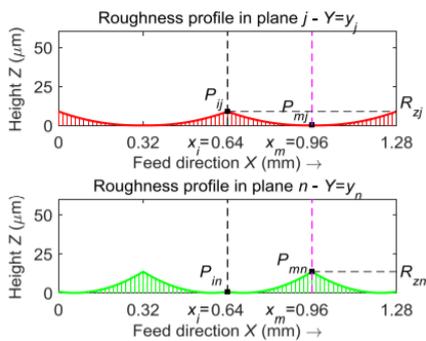
The roughness parameters predicted are the arithmetical means roughness R_a and the maximum peak-to-valley height R_z .



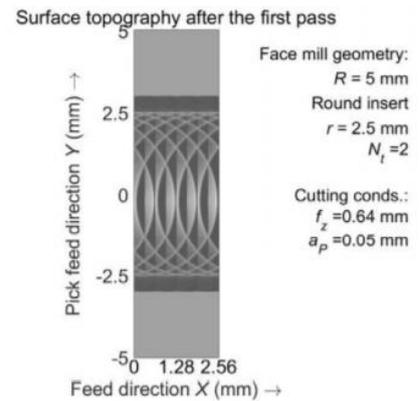
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5 - (a, b, c) Modelling of roughness profiles created in planes I , j, m and n, (d) top view of the simulated surface topography.

References

- [1] Arrazola PJ , Özel T , Umbrello D , Davies M , Jawahir IS . Recent advances in modelling of metal machining processes.
- [2] Sutherland JW , Babin TS . The geometry of surfaces generated by the bottom of an end mill.
- [3] Melkote SN , Thangaraj AR . An enhanced end milling surface texture model including the effects of radial rake and primary relief angles.
- [4] Melkote SN , Sutherland JW , King C . The effect of tool flexibility on back-cutting in end milled surfaces. Trans.
- [5] Ryu SH , Choi DK , Chu CN . Roughness and texture generation on end milled surfaces.

Приложение Б

```
clear;

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

read_name_file1 = 'output_graph_data.txt';

read_name_file2 = 'output_surface_data.txt';

plot_name = ('Figure');%['Figure_' num '_'_y']

A = load ([path read_name_file1]);

B = load ([path read_name_file2]);

x = A(:, 1);

y1 = A(:, 2);

y2 = A(:, 3);

y3 = A(:, 4);

y4 = A(:, 5);

y5 = A(:, 6);

y6 = A(:, 7);

y7 = A(:, 8);

y8 = A(:, 9);

y9 = A(:, 18);

y10 = A(:, 19);

y11 = A(:, 20);

y12 = A(:, 21);

y13 = A(:, 22);

x_ = B(:, 1);
```

```

y_ = B(:, 2);

set(0,'DefaultAxesFontSize',14,'DefaultAxesFontName','Times New Roman');

fig = figure('Units', 'normalized', 'OuterPosition', [0.125 0.1 0.65 0.8]);

fig.PaperPositionMode = 'auto';

ax1 = subplot(4,1,4);

plot(x_, y_*1000,'k-', 'LineWidth', 1);

axis([0 50 14.5 16.5])

ylabel('Высота профиля,мм');

xlabel('Длина, мм');

grid on;

xlabel(ax1, 'Длина, мм');

ax2 = subplot(4,1,1);

plot(x, y2.*1000,'k-', x, y3.*1000,'k--', 'LineWidth', 1);

axis([0 4.7 0 1])

set(gcf,'PaperPositionMode','auto')

ylabel('Деформация, мм');

xlabel('Время, с');

legend('Деталь','Location','southwest');

grid on;

ax3 = subplot(4,1,2);

plot(x,y1.*1000,'k-',x,y4.*1000,'k--','LineWidth',1);

axis([0 4.7 0 50e-04])

set(gcf,'PaperPositionMode','auto')

```

```
ylabel('Деформация, мм');  
  
xlabel('Время, с');  
  
legend('Фреза','Стол','Location','southwest');  
  
grid on;  
  
ax4 = subplot(4,1,3);  
  
plot(x, y11*1000,'k-', 'LineWidth', 1);  
  
axis([0 4.7 0 0.3])  
  
ylabel('Толщина стружки,мм ');  
  
xlabel('Время, с');  
  
grid on;  
  
xlabel(ax4, 'Время, с');  
  
print(fig,['C:\Resolver for experiments\' plot_name'],'-dpng','-r300')%,'-opengl'  
  
savefig(fig,['C:\Resolver for experiments\' plot_name']);
```

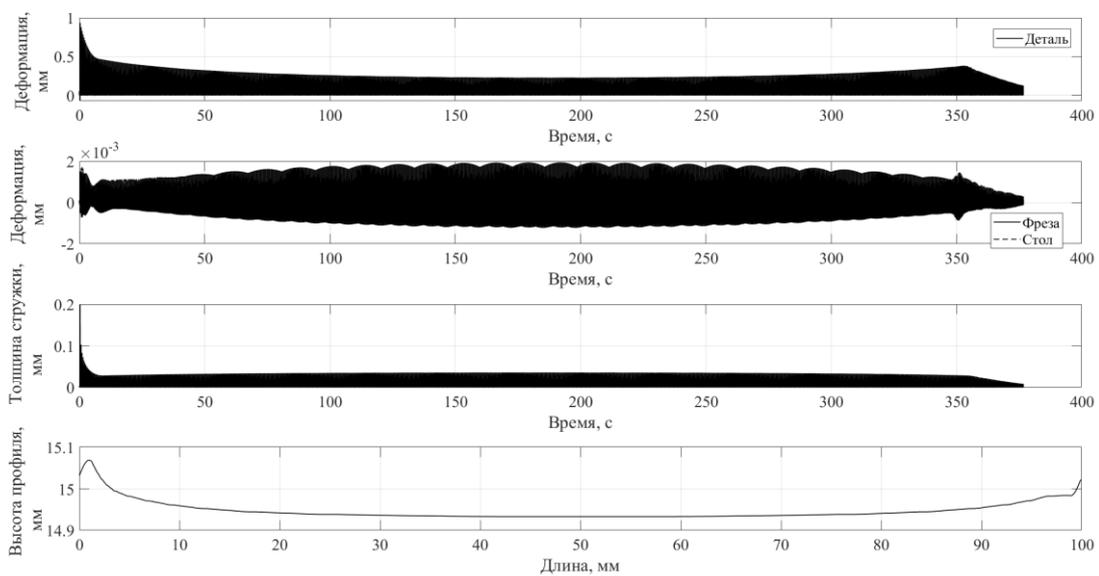
Приложение В

Таблица В – Значения скоростей для построения графиков.

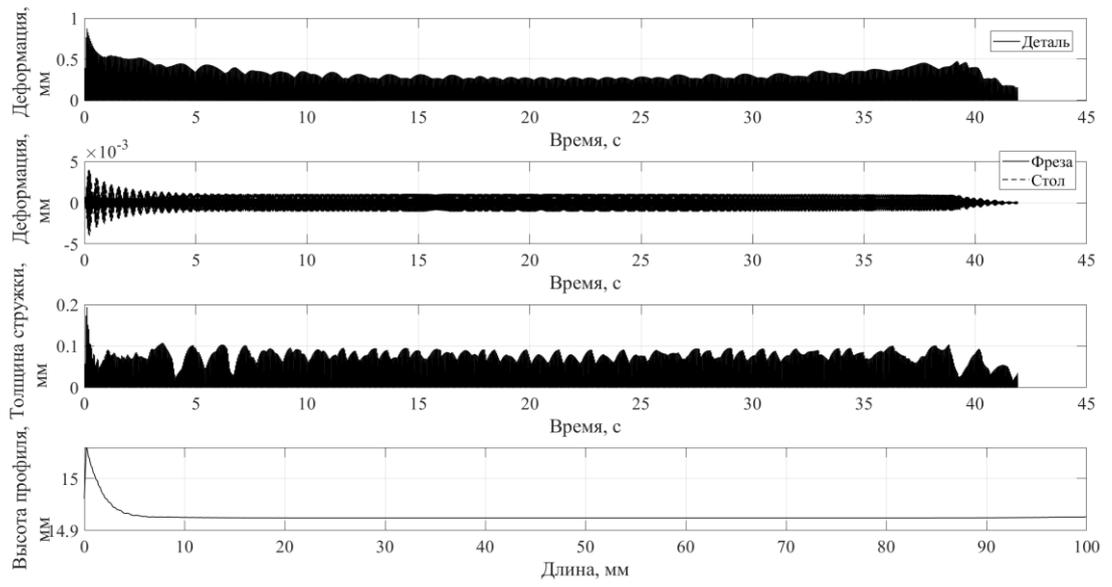
Скорость резания, м/мин	Частота фращения, об/мин	Угловая скорость, рад/с	T_{max} , с
5	53	$\omega_1 = 5.56$	376.8
45	477	$\omega_2 = 50$	41.867
85	902	$\omega_3 = 94.444$	22.165
125	1327	$\omega_4 = 138.889$	15.072
165	1752	$\omega_5 = 183$	11.418
205	2176	$\omega_6 = 227.778$	9.19
245	2601	$\omega_7 = 272.222$	7.69
285	3025	$\omega_8 = 316.667$	6.611
325	3450	$\omega_9 = 361$	5.797
365	3875	$\omega_{10} = 405.556$	5.162
400	4246	$\omega_{11} = 444$	4.71

Приложение Г

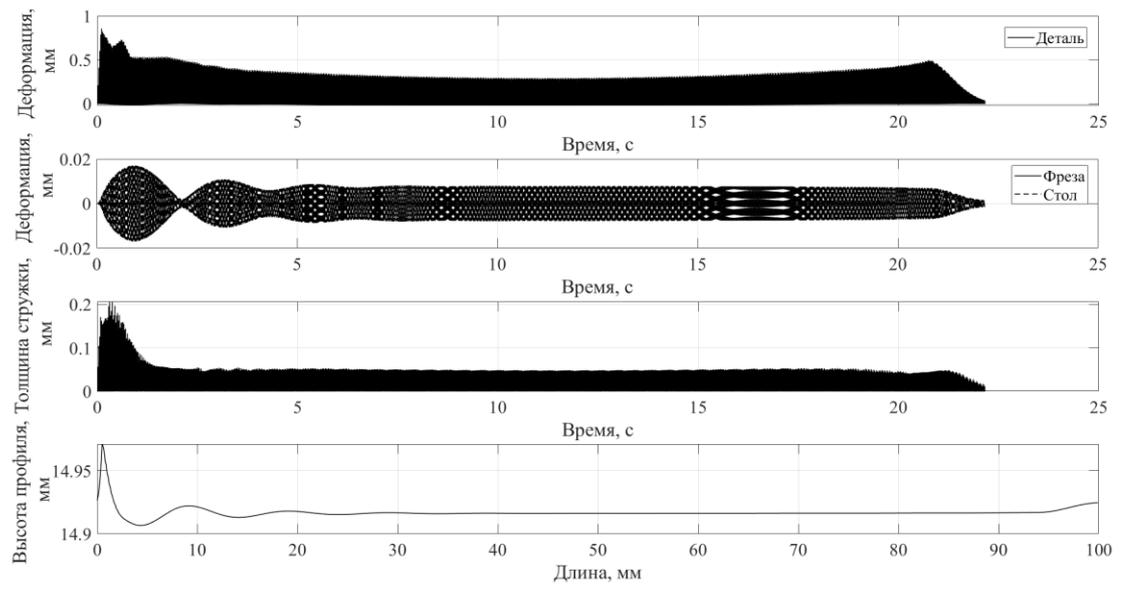
Скорость резания 5 м/мин



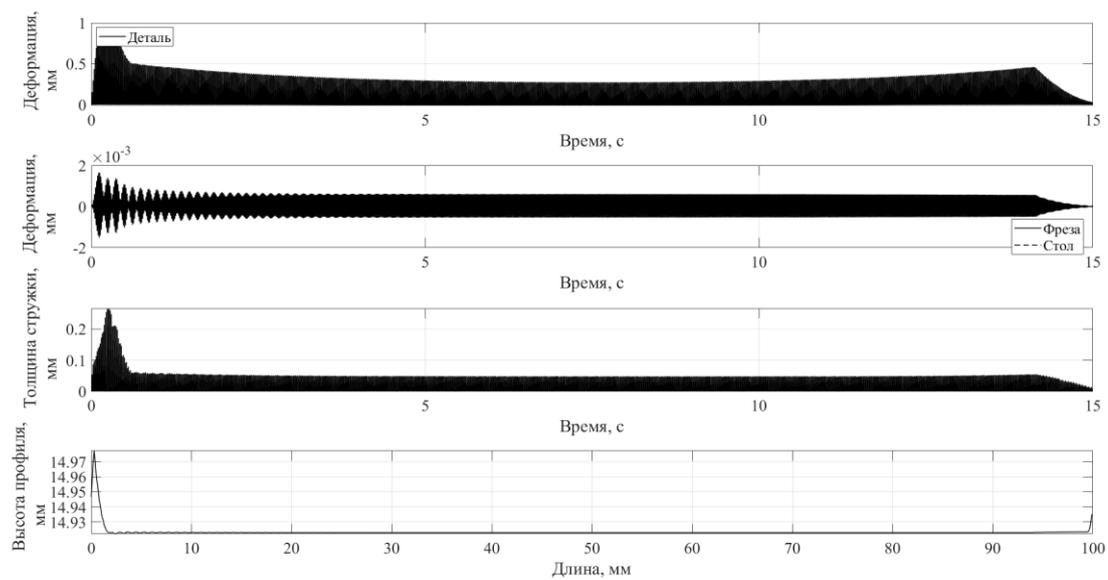
Скорость резания 45 м/мин



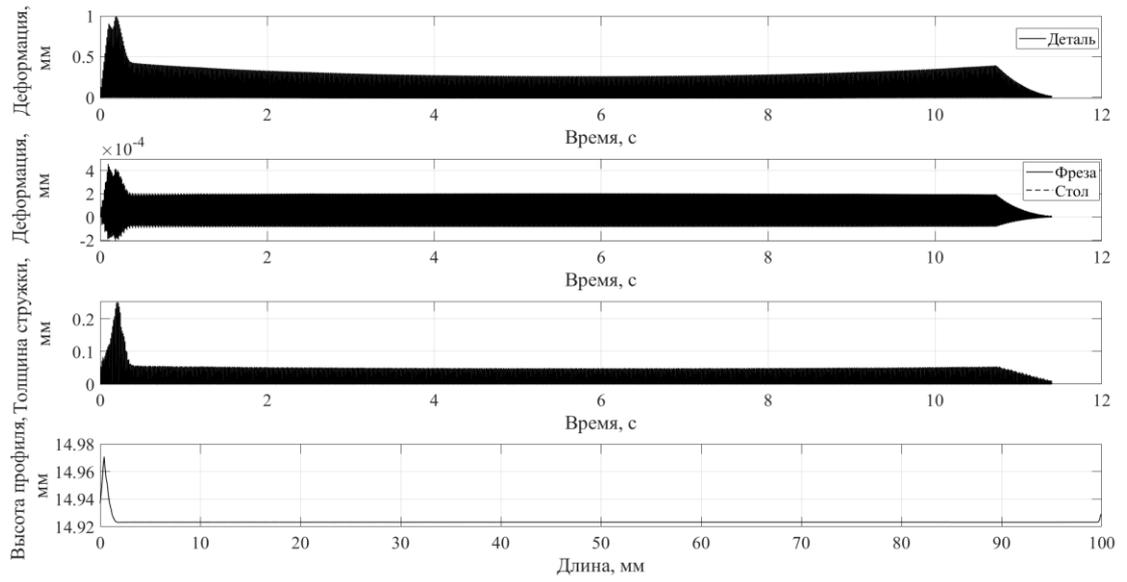
Скорость резания 85 м/мин



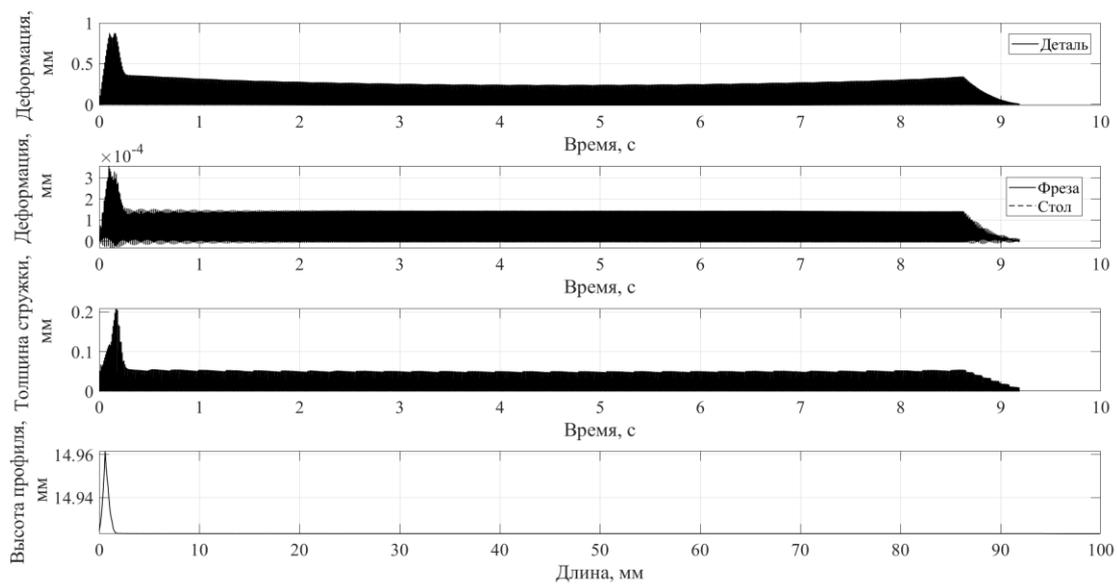
Скорость резания 125 м/мин



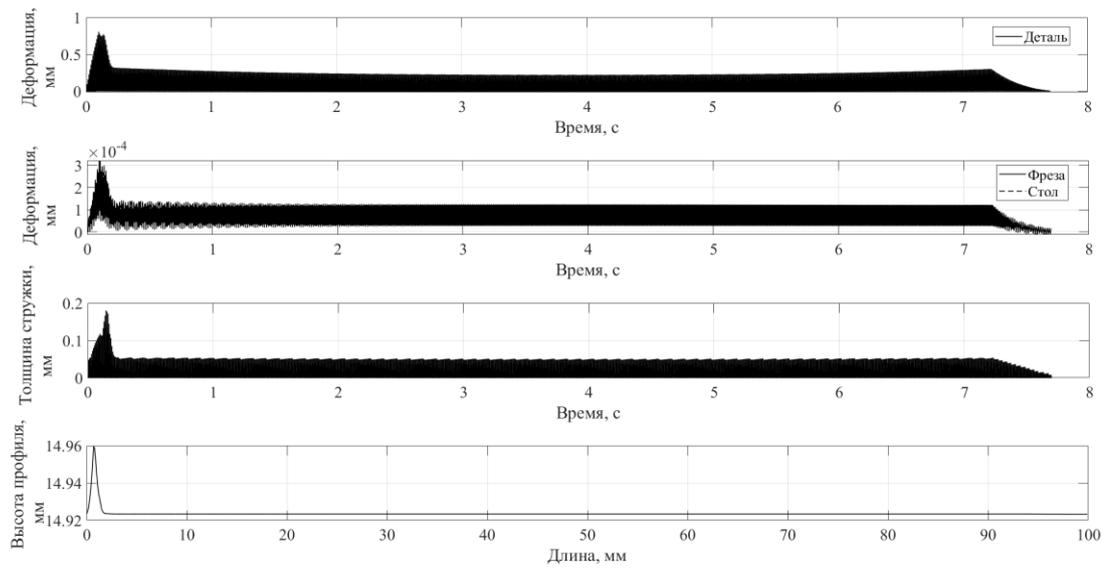
Скорость резания 165 м/мин



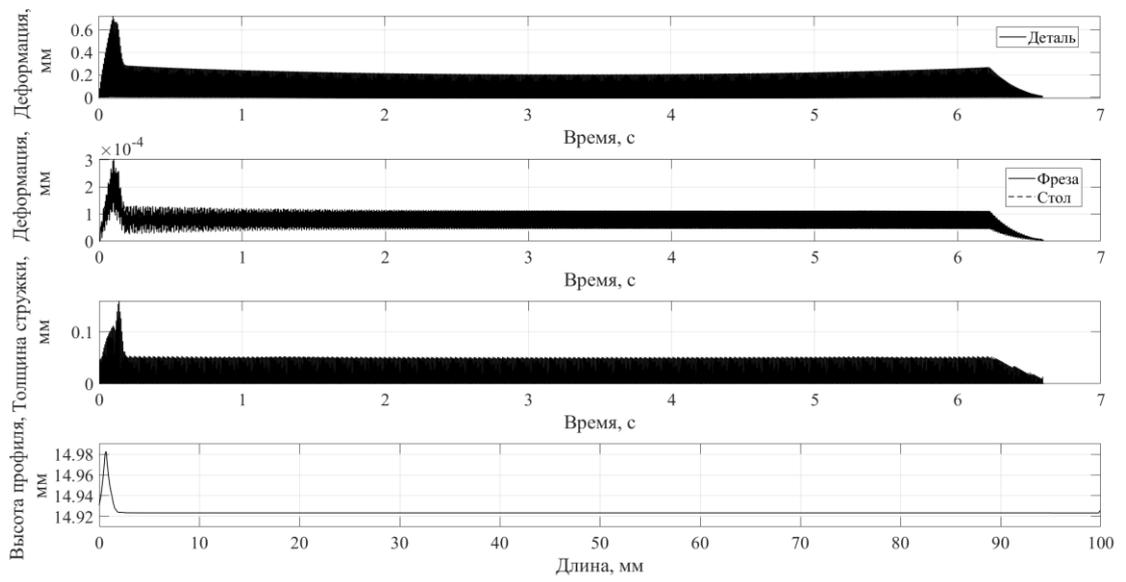
Скорость резания 205 м/мин



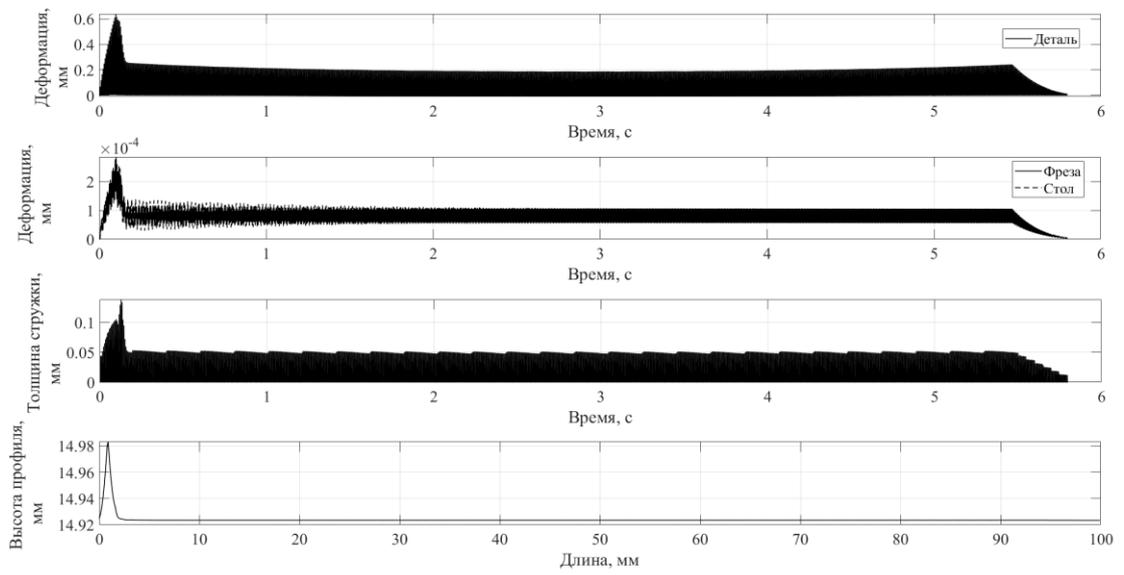
Скорость резания 245 м/мин



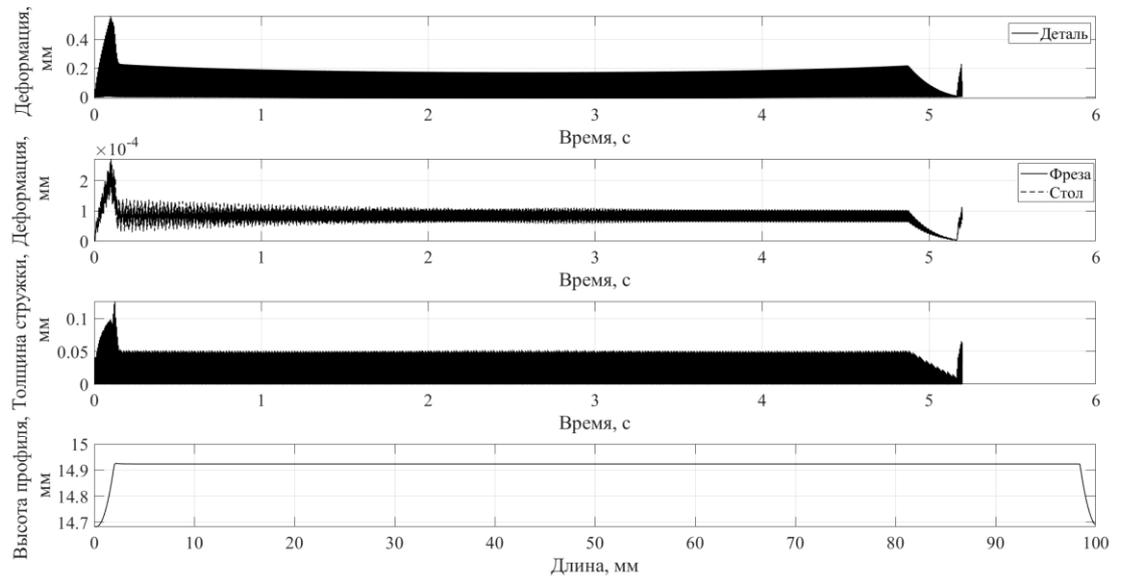
Скорость резания 285 м/мин



Скорость резания 325 м/мин



Скорость резания 365 м/мин



Скорость резания 400 м/мин

